

CONTENIDO, DISTRIBUCION Y FORMAS DEL HIERRO
EN SUELOS DE ANDALUCIA OCCIDENTAL

por

Juan de Olmedo Pujol

Trabajo presentado para op-
tar al Grado de ~~Doctor en~~
Ciencias, Sección Químicas

Juan Olmedo
Sevilla, Febrero 1970

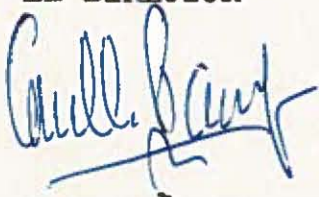
CONTENIDO, DISTRIBUCION Y FORMAS DEL HIERRO
EN SUELOS DE ANADALUCIA OCCIDENTAL

Trabajo presentado por D. Juan de
Olmedo Pujol para aspirar al Grado
de Doctor en Ciencias, Sección Quí
micas, realizado bajo la dirección
del Investigador Dr. D. Guillermo
Paneque Guerrero, del Patronato
Alonso de Herrera, del C.S.I.C.

Visado en Sevilla a

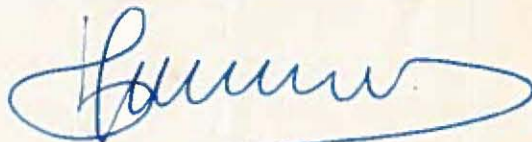
28 de Febrero de 1970

EL DIRECTOR



Guillermo Paneque
Guerrero

EL CATEDRATICO-PADRINO



Francisco Gonzalez García

Agradezco al Prof. Dr. D. Francisco Gonzalez García, Catedrático de Química Inorgánica y Director del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto, del C.S.I.C., la gentileza de actuar como Padrino de esta Tesis y la ayuda que me ha prestado para su realización. Agradezco al Dr. D. Guillermo Paneque Guerrero, Investigador Científico, Jefe de la Sección de Suelos del C.E.B.A.C., la dirección de esta Tesis Doctoral.

A los Drs. R. Romero, J.L. Perez Rodriguez, D. Wiemberg y Lcdo. J.L. Mudarra agradezco la ayuda proporcionada en algunos aspectos de este estudio.

Agradezco al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y a la Comisaría de Protección Escolar, la ayuda económica prestada.

I N D I C E

1 - INTRODUCCION

| | Pag. |
|--|------|
| 1.1 - Propiedades del hierro | 8 |
| 1.2 - Origen del hierro en los suelos | 13 |
| 1.3 - Movilización del hierro en los suelos | 15 |
| 1.4 - Oxidos e hidróxidos de hierro en los suelos | 19 |
| 1.5 - Condiciones de formación de los óxidos de hierro | 25 |
| 1.6 - El hierro en la sistemática de los suelos | 37 |

2 - SUELOS ESTUDIADOS Y

METODOS EXPERIMENTALES

| | |
|--|----|
| 2.1 - Geología, clima y vegetación | 43 |
| 2.2 - Suelos | 47 |
| 2.2.1 - Asociación de Regosuelos, Rankers y Suelos pardos sobre arenas | 47 |
| 2.2.1.1 -Descripción de los perfiles I y II | 48 |
| 2.2.2 - Asociación de Suelos brutos calizos, Xero-rendsinas y Rendinas sobre calizas, areniscas calizas y calizas margosas | 52 |
| 2.2.2.1 -Descripción del perfil III | 53 |
| 2.2.3 ✓ Suelos margosos béticos: suelos vérticos litomorfos sobre margas | 54 |
| 2.2.3.1 -Descripción del perfil IV | 55 |
| 2.2.4 ✓ Tierras negras andaluzas: vertisoles topolitomorfos sobre margas y calizas | 58 |
| 2.2.4.1 -Descripción de los perfiles V, VI y VII | 59 |

| | Pag. |
|---|------|
| 2.2.5 - Asociación de Tierra parda meridional y Ranker sobre pizarras, esquistos, cuarcitas, etc. | 63 |
| 2.2.5.1 - Descripción de los perfiles VIII y IX | 63 |
| 2.2.6 - Asociación de Tierra par meridional, Ranker y Litosuelo sobre granitos, sienitas, dioritas, etc. | 65 |
| 2.2.6.1 - Descripción del perfil X | 66 |
| 2.2.7 - Asociación de Tierra parda ferrítica sobre calizas cambrianas | 68 |
| 2.2.7.1 - Descripción del perfil XI | 69 |
| 2.2.8 - Asociación de Suelos rojos y Tierras pardas sobre pizarras, esquistos, cuarcitas y calizas cámbricas | 71 |
| 2.2.8.1 - Descripción del perfil XII | 72 |
| 2.2.9 - Asociación de Suelos rojos y Suelos pardos mediterráneos sobre areniscas calizas y sobre sedimentos cuaternarios antiguos | 74 |
| 2.2.9.1 - Descripción de los perfiles XII, XIV, XV, XVI y XVII | 75 |
| 2.2.10 - Asociación de Suelos pardos y Suelos pardos lavados hidromorfos (planosuelos), sobre terrazas cuaternarias | 81 |
| 2.2.10.1 - Descripción de los perfiles XVIII, XIX y XX | 82 |
| 2.3 - Métodos experimentales | 86 |
| 2.3.1 - Preparación de las muestras para análisis químico del suelo | 86 |
| 2.3.2 - Preparación de las muestras para análisis mecánico y determinaciones de hierro en las distintas fracciones | 86 |
| 2.3.3 - Preparación de las muestras para análisis por rayos X y térmico diferencial | 86 |

| | Pag. |
|--|------|
| 2.3.4 - Determinaciones generales: análisis químico; determinación de materia orgánica y carbono orgánico; nitrógeno; acidez; carbonatos; capacidad de cambio e iones cambiabiles, y análisis mecánico | 87 |
| 2.3.5 - Determinaciones químicas del hierro: hierro total y libre | 89 |
| 2.3.6 - Determinaciones físico químicas y físicas: A.T.D. de arcillas; diagramas de difracción de rayos X, y estudio micromorfológico de los suelos | 90 |

3 - RESULTADOS EXPERIMENTALES

Y DISCUSION

| | |
|---|-----|
| 3.1 - Caracterización química general de los suelos | 94 |
| 3.2 - Hierro total, hierro libre (Deb) y Fe_2O_3 libre/total (%) | 108 |
| 3.3 - El hierro y el análisis químico de los suelos | 116 |
| 3.4 - El hierro y el análisis mecánico de los suelos | 131 |
| 3.5 - Identificación de óxidos e hidróxidos de hierro en las arcillas por difracción de rayos X y análisis térmico diferencial (A.T.D.) | 159 |
| 3.6 - Descripción micromorfológica | 182 |

| | |
|---------------|-----|
| 4 - DISCUSION | 203 |
|---------------|-----|

| | |
|------------------|-----|
| 5 - CONCLUSIONES | 221 |
|------------------|-----|

| | |
|------------------|-----|
| 6 - BIBLIOGRAFIA | 231 |
|------------------|-----|

1 - INTRODUCCION

Edafológicamente el suelo se considera como un medio complejo y dinamico que se forma, según Mattson (1937), en el punto de intersección de la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Duchaufour (1960) indica asimismo que el suelo es un medio dinámico porque adquiere sus propiedades progresivamente bajo la acción combinada de los factores del medio; nace y evoluciona; la roca madre se altera bajo la acción del clima y la vegetación; el medio biológico origina una materia orgánica o humus de propiedades bien determinadas, que se incorpora al suelo. En fin, se establecen - dice el citado autor - uniones más o menos íntimas entre los minerales de alteración procedentes de la roca y el humus formado por la biosfera. La evolución prosigue hasta alcanzar una situación de equilibrio estable, en que el suelo adquiere su propia individualidad, que se conoce como suelo climax. Para Reich (1945), la respuesta de la litosfera a la acción de la atmósfera, hidrosfera y biosfera viene a coincidir con el concepto de alteración química, el cual entraña una dinámica y complejidad similar a la expresada recientemente por Duchaufour y otros autores.

Desde el punto de vista geoquímico se ha establecido en la corteza terrestre la siguiente frecuencia de elementos:

oxígeno: 46.6%; silicio: 27.7%; aluminio: 8.1%;
hierro: 5.0%; calcio: 3.6%; sodio: 2.8%; potasio: 2.6%;
magnesio: 2.1% (Goldschmidt, 1937; Rankama, 1960).

Estos elementos componen el 98.5% en peso de la litosfera; su frecuencia en el suelo, la zona de mayor alteración de la litosfera, refleja un lavado de cationes alcalinos y alcalino-térreos, fácilmente solubles, y un enriquecimiento relativo de óxidos de silicio, aluminio y hierro. Teniendo en cuenta el comportamiento químico de estos elementos en función de los diversos factores que intervienen en los procesos edafogenéticos, la aplicación de criterios geoquímicos ha permitido establecer importantes fenómenos que ocurren en la superficie de la costra sólida (Polinov, 1915, 1934).

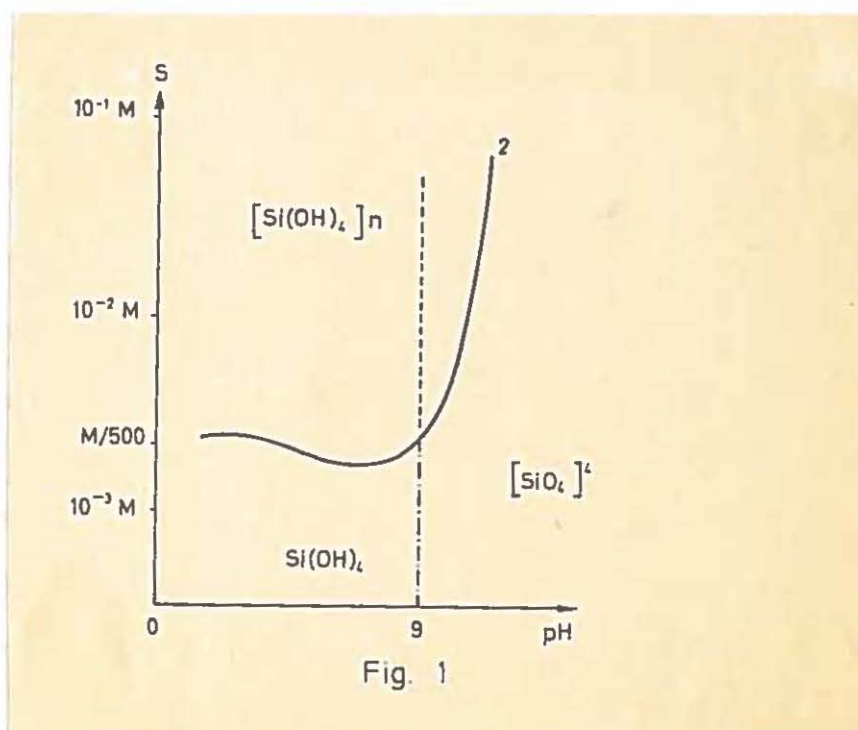


Fig. 1 - Influencia del pH en la solubilidad del silicio.

Por otro lado, estudios ~~experimentales~~ de Pedro (1964) acerca de la descomposición de las rocas "in vitro" muestran que el lavado de la sílice se favorece ligeramente por aumento del drenaje, sensiblemente por elevación de la temperatura, y muy netamente por disminución del pH en la zona de alteración. En líneas generales este comportamiento se aparta de las normas establecidas (fig.1) en que la solubilidad es constante y baja hasta pH 9, marcado por el equilibrio polimerización-despolimerización (Alexander, 1954; Okamoto, 1957; Siffert, 1962). Se ha visto también que respecto de los otros elementos su lavado no es tan intenso como podría suponerse teniendo en cuenta sus valores absolutos.

En la alteración experimental de las rocas se ha observado que cuando se usa el agua como líquido de ataque el aluminio tiene cierta tendencia a lixivarse, fenómeno que permanece invariable en distintas condiciones de drenaje y se modifica con la temperatura: crece el lavado al aumentar la temperatura y disminuye con la disminución de la temperatura (Pedro, 1964). Extendiendo estas experiencias a las condiciones naturales puede decirse que el medio influye en gran manera en la solubilización y transporte del aluminio en los suelos. A juzgar por los diagramas de solubilidad del aluminio (fig.2), sólo hay condiciones adecuadas de movilización a pH muy bajos o muy altos, cosa no habitual en el suelo. Sin embargo Pedro (1964) comprueba, al someter diversos tipos de rocas a

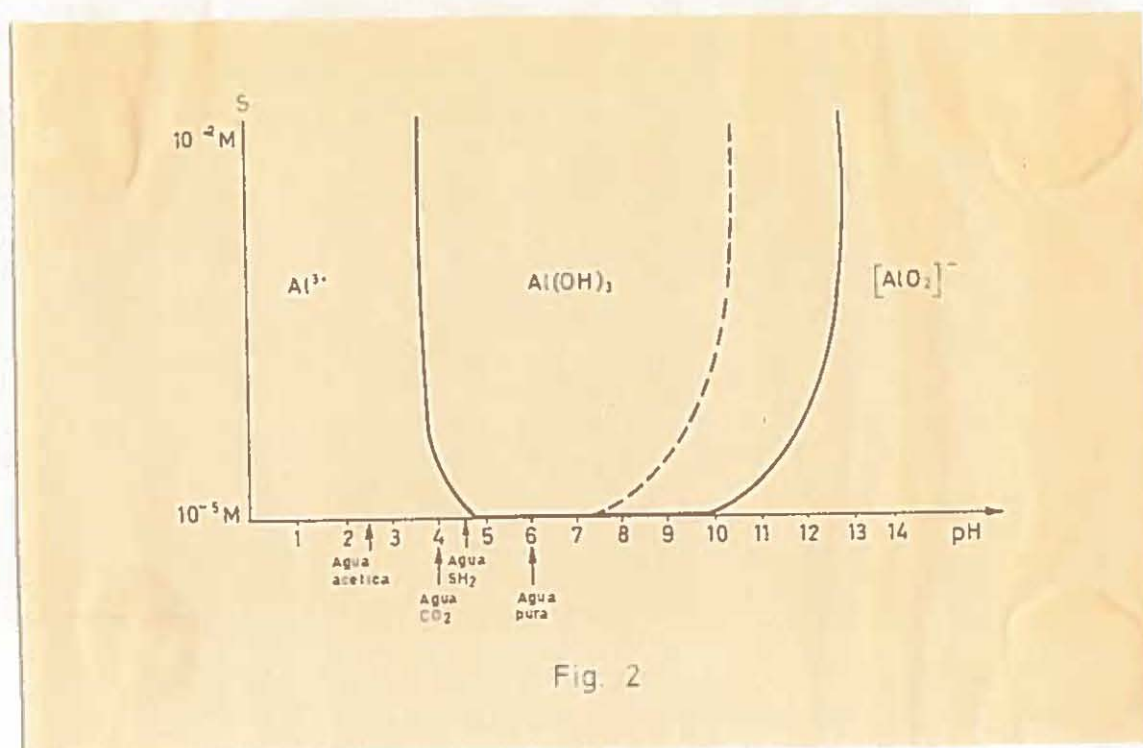


Fig.2 - Influencia del pH en la solubilidad del aluminio

tratamientos con varios ácidos débiles, una mayor extracción con aquellos reactivos que tienen más afinidad química por el ión aluminio que por otros iones en disolución.]

Respecto al hierro, [que como se ha indicado sigue en frecuencia al aluminio en la composición de la corteza terrestre] ^{los} ~~por sus~~ diagramas de solubilidad (fig 3), ^{muestran que} es el único de los elementos considerados hasta ahora que se movilizaría en los suelos, ya que en uno u otro estado de valencia es soluble en la gama habitual de pH de éstos. [a pH bajo es soluble en cualquier estado de valencia; a pH medio es soluble como hierro ferroso e insoluble con valencia tres. A pH más elevados disminuye

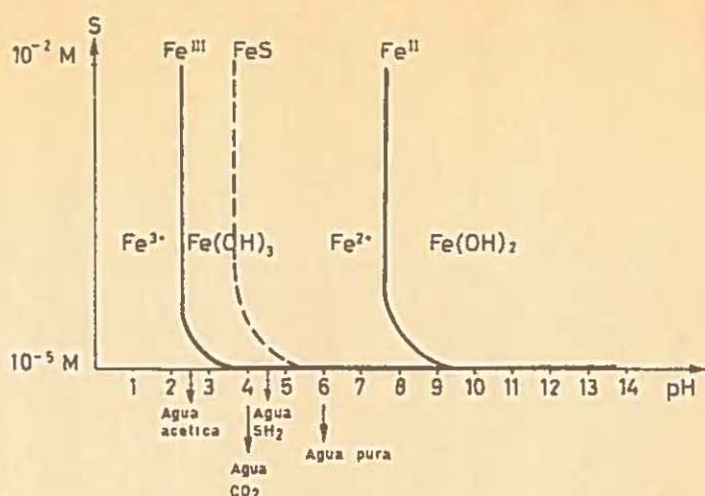


Fig. 3

Fig.3 - Influencia del pH en la solubilidad del hierro

su solubilidad tanto en uno como en otro grado de valencia. Por consiguiente, las condiciones del medio determinan también la solubilidad de éste elemento.

De lo expuesto se deduce que el hierro es de los tres elementos el más apropiado para seguir el proceso de alteración de las rocas y la evolución química del suelo, aunque dicho elemento se encuentre en menor cantidad que los anteriores. [Sus condiciones de movilidad son óptimas al tener dos estados de valencia, apareciendo en uno o en otro según el potencial redox y pH del suelo, relativamente fáciles de determinar.]

Respecto al manganeso, al tener un potencial redox menor que el hierro, tiene una mayor movilidad (Hoyos, 1964), pero su bajo contenido en los suelos limita su empleo en estudios edafogonéticos.

Sin duda alguna, las características geoquímicas indicadas del hierro y otras propiedades de este elemento, que más adelante se referirán, determinan su gran importancia en el estudio de los suelos. En la actualidad se conoce bien el contenido, forma y distribución del hierro en determinados suelos, tales como podsoles, suelos tropicales ferruginosos, gleys, etc. Por el contrario, en muchos suelos del área mediterránea, y concretamente en los más frecuentes de Andalucía Occidental, no se ha estudiado hasta ahora dicho elemento en relación con la morfología, génesis y clasificación de los mismos. Por dicho motivo hemos creído interesante abordar el estudio del hierro en los suelos de esta región en la línea que más adelante se expondrá.

1.1 - Propiedades del hierro

Elemento situado en el grupo VIII b, periodo IV del sistema periódico, de peso atómico 55.85 y de número atómico 26; actúa con valencias dos y tres, pero en condiciones no presentes en el suelo puede ser penta y hexavalente.

Sus radios iónicos son:

$$\text{Fe}^{2+} : 0.75 \text{ a } 0.83 \text{ \AA}$$

$$\text{Fe}^{3+} : 0.53 \text{ a } 0.67 \text{ \AA}$$

Si se relaciona la carga frente al radio iónico de los principales elementos en un diagrama (fig.4), se

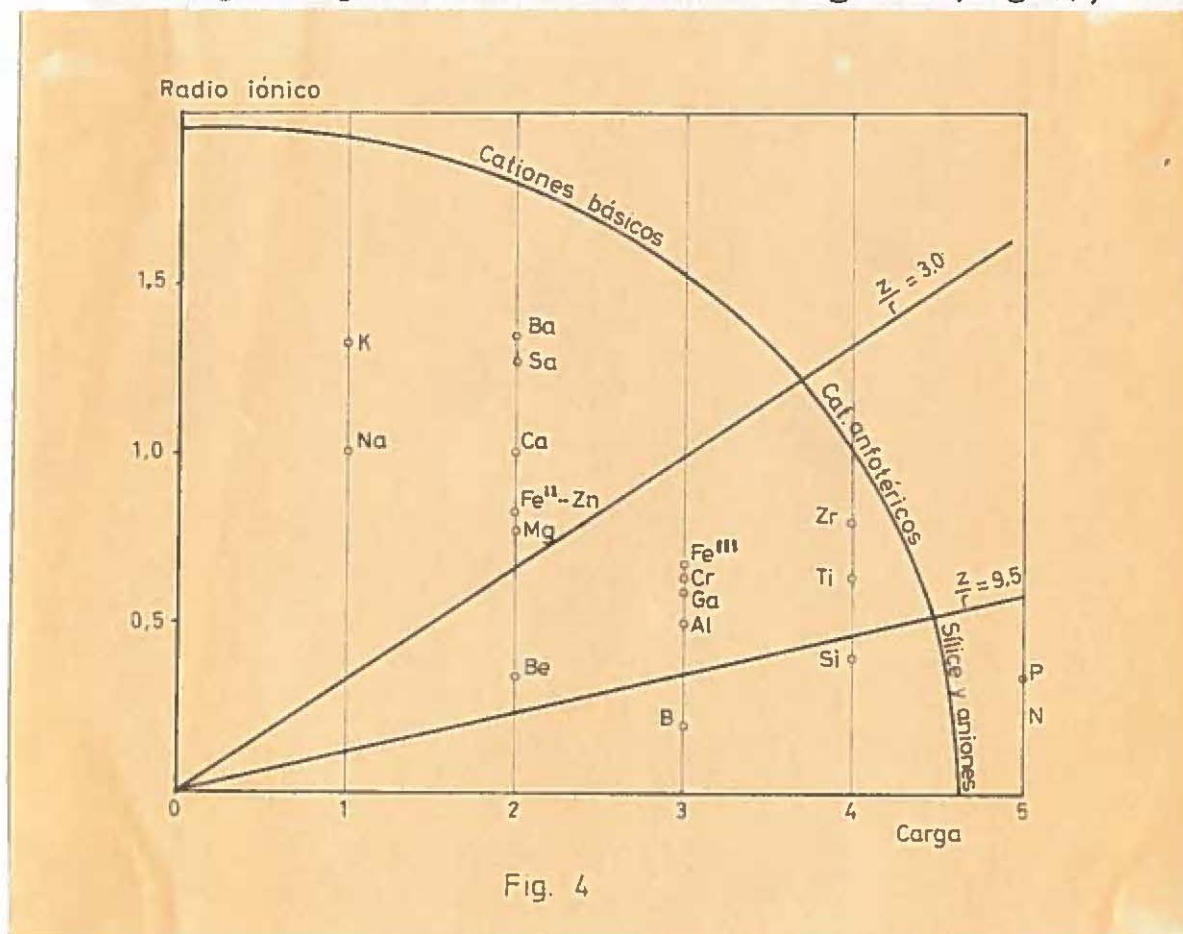


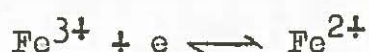
Fig.4 - Distribución de elementos en función del potencial iónico

obtiene una distribución en función del potencial iónico, en la que se puede diferenciar los siguientes grupos: por debajo de potencial iónico 3.0 se encuentran los cationes básicos; entre 3.0 y 9.5 los iones anfotéricos, y por encima de 9.5 la sílice y los aniones (Goldschmidt, 1958; Pedro, 1964).

El hierro se encuadra en los cationes básicos cuando se encuentra en su forma reducida y en los iones anfotéricos cuando está en la forma trivalente u oxidada. Por tanto, su comportamiento depende de la valencia: como trivalente tiene semejanza con el aluminio y como divalente con el magnesio, manganeso y otros.

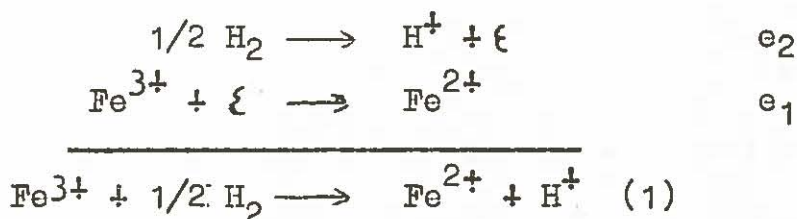
El distinto comportamiento de los iones di y trivalentes del hierro se pone de manifiesto en la distinta solubilidad frente al pH. Para una concentración del orden de 10^{-2} M el hierro trivalente es soluble a pH bajo, del orden de 2, insolubilizándose a pH más altos; el divalente, sin embargo, permanece en disolución hasta un pH de 7.7, momento en que se inicia la precipitación del $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (fig.3).

La naturaleza oxidante o reductora del medio en una solución de hierro determina el equilibrio iónico entre las formas di y trivalente del hierro (Correns, 1952).



Si en esa solución se introduce un electrodo de Pt unido por un sifón a un electrodo normal de hidró-

geno (donde $H^+ = 1$ y $H_2 = 1$ atm)(Segalen, 1964; Audubert y Quintin, 1942; Charlot y Bezier, 1945; Demolon, 1962; etc.), se tiene



El sistema óxido reductor funciona como un electrodo de hidrógeno

$$E_h = \frac{R T}{F} \log \frac{(H^+)}{(H_2)^{1/2}}$$

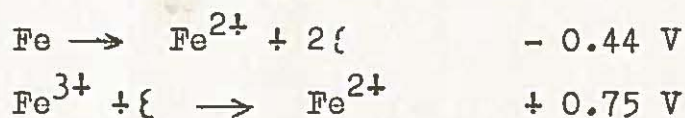
Aplicando la ley de acción de masas a la ecuación (1):

$$E_h = E_o + \frac{R T}{F} \log \frac{(Fe^{3+})}{(Fe^{2+})}$$

Si la (Red.) = (Ox.), se tiene que: $E_h = E_o$

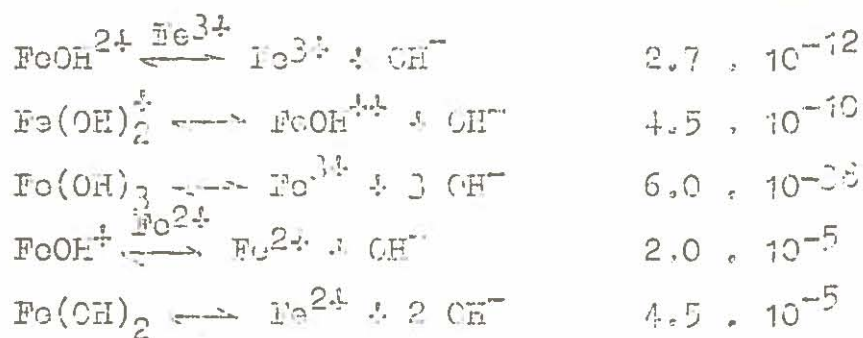
E_o es el potencial normal

Los valores de E_o para el hierro, son



Por tanto la solubilización del hierro a los diferentes pH depende de la forma iónica en que aparezca y del potencial de óxido reducción, lo que indica las condiciones del medio en que se efectúa la reacción.

Hem y Cropper (1959) presentan un gráfico de la posibilidad de existencia de los distintos compuestos de hierro di y trivalente. Para ello determinaron previamente las constantes de equilibrio de los distintos compuestos:



Sobre esta base construyen el ya mencionado gráfico de la posibilidad de encontrar los distintos compuestos de hierro a pH y Eh determinados, como indica la fig.5.

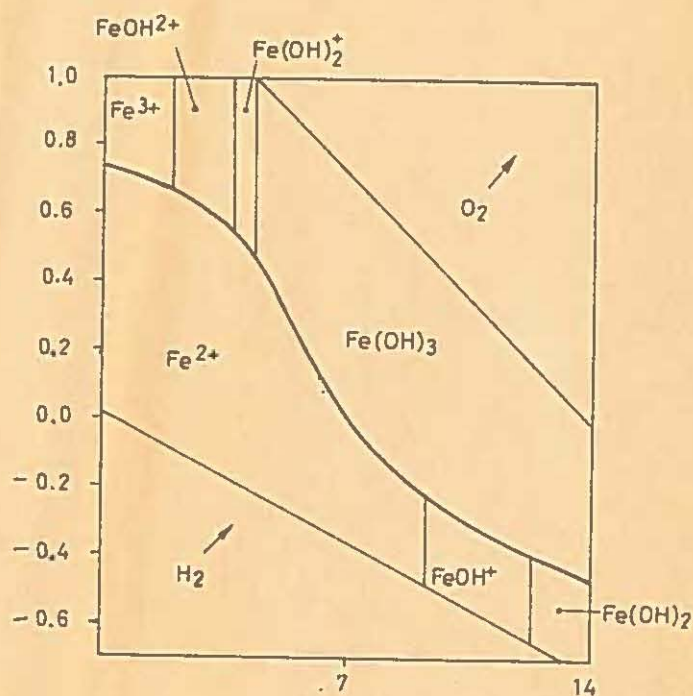


Fig. 5

Fig.5 - Distribución de los distintos compuestos de hierro en función del Eh y pH.

Esos equilibrios quedan muy modificados por la intervención de agentes complejantes o quelatantes, circunstancia bastante frecuente en los suelos, bien por influencia de los constituyentes inorgánicos o de la materia orgánica de los mismos.

1.2 - Origen del hierro en los suelos

La fuente del hierro del suelo se encuentra en una gran diversidad de minerales de la superficie terrestre. Estos minerales se pueden clasificar en dos grandes categorías: minerales primarios y minerales secundarios.

Se consideran primarios aquellos que forman parte de las rocas ígneas y metamórficas; de estos, por alteración, se produce una extensa gama de nuevos minerales conocidos como secundarios, que son constituyentes principales de las rocas sedimentarias y por tanto de los suelos.

Se han dado diversas secuencias de estabilidad de los minerales primarios, siendo las más conocidas las de Pettijohn (1941) y Weyl (1952).

Los minerales secundarios, debido a su gran variedad, son difícil de clasificar. Teniendo presente que los de mayor interés en los suelos son aquellos del tamaño y estructura de los de la arcilla, pueden indicarse como más destacados por su contenido en hierro: hidromicas, illitas, nontronita, clorita, vermiculita, chamosita, glauconita, griffitita, cronstedtita y greenalita (Carrol, 1958; Brindley, 1961).

La secuencia de estabilidad mineral más usada conteniendo los minerales de la arcilla, es la de Jackson y Sherman (1953). Se compone de trece estadios, en los que la estabilidad aumenta en el siguiente orden: yeso (1), calcita (2), olivino-hornblenda (3), biotita

(4), albita (5), cuarzo (6), moscovita (7), silicatos interestratificados 2:1 y vermiculita (8), montmorillonita (9), caolinita (10), gibsitita (11), hematitas (12), y anatasa (13). Como puede observarse incluye una serie de minerales secundarios y permite comparar la estabilidad de los mismos frente a los primarios. Algunos óxidos de hierro se encuentran en el estadio 12, indicando fuerte estabilidad.

Las distintas secuencias de estabilidad permiten conocer de un modo general la facilidad de los distintos minerales que contienen hierro para liberarlo por alteración, así como el comportamiento o evolución a los óxidos originados, algunos de los cuales pueden considerarse como muy estables (hematitas, goethita, limonita, etc.).

1.3 - Movilización del hierro en los suelos

Ya se ha indicado la influencia del pH y Eh sobre el estado iónico del hierro. Otros factores físicos y químicos del medio edáfico afectan de un modo u otro la movilización del hierro, habiéndose alcanzado en este sentido cierto conocimiento del problema.

El régimen hídrico, condicionado en gran medida por la pluviosidad, drenaje del suelo y temperatura ambiente, desempeña un papel fundamental en el estudio de este problema. Se ha comprobado una dinámica estacional de hierro (Iri, Maruta, Takahashi, Kubota, 1957 y otros), - movilización en los periodos húmedos o inmovilización en los secos -, determinada por las condiciones redox del medio. Puede llegarse a una expresión que relaciona el pH y Eh del suelo.

La fórmula desarrollada para el potencial redox es:

$$Eh = \frac{R}{F} \frac{T}{2300} \log (H^+) - 1/2 \frac{R}{F} \frac{T}{2300} \log (H_2)$$

$$\text{utilizando } rH_2 = \log \frac{1}{(H_2)}$$

y sustituyendo

$$Eh = - \frac{R}{F} \frac{T}{2300} \cdot pH + 1/2 \frac{R}{F} \frac{T}{2300} \cdot rH_2$$

de donde

$$rH_2 = \frac{Eh + 0.058 \text{ pH}}{0.029}$$

Esta fórmula sería de aplicación válida para conocer la movilización del hierro siempre que el suelo

fuere un medio totalmente inorgánico y más o menos homogéneo. Al no ser así, en especial por la presencia de sustancias orgánicas y por las diversas condiciones físicas del suelo, el problema de la movilización del hierro es más complejo.

Se han efectuado gran número de experiencias para relacionar la movilización del hierro con los componentes del suelo. Estas experiencias se han conducido tanto en condiciones anacróbicas como aerobias; estériles como no estériles; utilizando lechos de hojas de todo tipo; con compuestos orgánicos de cadena corta y de cadena larga; etc (Bloomfield, 1951; Hutchinson, 1957; Starkey y Halvorson, 1927; Allison y Scarseth, 1942; Bloomfield, 1950; Bétrénioux, 1951; etc)(Bloomfield, 1953, 1958, 1955 b, 1955 a, 1956 b; Schoys, Dudal y Baeyens, 1954; y otros). Se ha llegado por este camino a una serie de conclusiones: en ciertas circunstancias el hierro movilizado es proporcional a la cantidad de materia vegetal utilizada; las manchas grises de los gley o son complejos de hierro ferroso muy estables o no son de hierro ferroso; la acción de las sustancias orgánicas sobre el hierro son tanto de peptización como de complejación; los polisacáridos tienen una acción estabilizante sobre la estructura del suelo, y los polifenoles la contraria (Bloomfield, 1963); etc.

Aunque se ha podido conocer la gran importancia que tienen los compuestos orgánicos de los restos vegeta-

los como agentes movilizantes del hierro, cuando éste se estabiliza es más fácil encontrarlo como óxido o hidróxido que complejo con las sustancias orgánicas. El paso de hierro orgánico a inorgánico tiene lugar, al parecer, bien por una hidrólisis o por una oxidación. Si fuera una hidrólisis, suponiendo un complejo mononuclear, se tendría la siguiente ecuación general, según Schuylenborgh (1964):



de donde se obtiene la constante de hidrólisis siguiente:

$$K_h = \frac{K}{(M(OH)_n)}$$

siendo K la constante de equilibrio de la reacción anterior.

Se deduce que un aumento en la actividad del ión hidroxilo tiende a desplazar el equilibrio a la derecha, produciendo finalmente la precipitación del hidróxido. La precipitación puede contrarrestarse, al menos en parte, por la presencia de un exceso de ligando orgánico. Puede verse además que si $K \gg 1$, la reacción de hidrólisis proseguiría a la derecha.

Es muy importante el pH a que se produce la hidrólisis, ya que según su valor, el hierro precipitará en forma di o trivalente.

Un segundo mecanismo de separación por hidrólisis a partir de los complejos orgánicos consiste en la

oxidación biológica del ligando. Schuylenborgh (1964) considera este mecanismo como el de acumulación de sesquióxidos en el horizonte B de los suelos podsólicos bien aireados.

En definitiva, parece ser que los productos finales de la movilización y evolución de los compuestos de hierro son óxidos e hidróxidos.

1.4 - Oxidos o hidróxidos de hierro en los suelos

Se ha indicado que los óxidos e hidróxidos de hierro son los productos que más frecuentemente resultan de la evolución y movilización de los compuestos de hierro. Dichos minerales se pueden encontrar en el suelo de distinta manera: repartidos en acumulaciones iluviales junto con la arcilla; como manchas y separaciones procedentes del suelo circundante que se diferencian al menos en el color y que a menudo se endurecen, llegando a formar lo que se conoce como nódulos y concreciones; formando parte de costras o corazas, características de las lateritas; etc.

En el caso en que el hierro se encuentre distribuido homogéneamente, como ocurre en suelos bien drenados y aireados, sigue la misma secuencia de distribución que la arcilla. Esto mismo ocurre cuando existen acumulaciones iluviales arcillosas. Sin embargo, las votas y concreciones ferruginosas suelen ser enriquecimientos muy localizados de óxidos de hierro acompañados en general por otros componentes del suelo; algo semejante ocurre en las costras y corazas.

La estrecha relación existente entre las arcillas y los óxidos de hierro ha llevado a estudiar el comportamiento de los minerales arcillosos frente a la movilización de este elemento. Se ha podido comprobar químicamente en la caolinita un contenido de hierro de hasta de un 12 % sin que se formen concreciones. Según

Barshad y Rojas (1950) en un podsol gigante el límite inferior del horizonte A2 viene dado por la presencia de caolinita, de acuerdo con lo sugerido por Nagelschmidt (1939) de que una arcilla caolinítica puede fijar óxidos de hierro procedentes de los horizontes superficiales hasta alcanzar el punto de saturación (12 % de óxido de hierrro). En este momento se iniciará la formación de una bolsa férrica.

Las ilitas ferríferas presentan contenidos en hierro entre 2 y 12 %. Las montmorillonitas tienen contenidos mas bajos.

Por lo general en las arcillas el hierro o forma parte de la red cristalina, - caso, por ejemplo, de algunas ilitas ferríferas - , o se adsorbe sobre la superficie de los minerales, circunstancia que permite explicar el mecanismo por el que estos minerales alcanzan mayor contenido del que podría esperarse por su estructura y composición.

La adsorción parece estar regulada por la distinta carga de los minerales arcillosos y de los óxidos e hidróxidos de hierro, existiendo una serie de factores que influyen en el fenómeno, entre ellos el pH, ya que según que el medio sea ácido o básico, los óxidos de hierrro tendrán carga positiva o negativa respectivamente (Duchaufour, 1965; Sumner, 1963).

Si la arcilla fijase los óxidos de hierro iluviales, entonces al movimiento de ésta precede la acumu-

lación de los compuestos de hierro. A este respecto Kun-Huang y Tson-Tuc (1959) indican que parece lógico que primero tenga lugar la peptización de los óxidos de hierro a lo largo del perfil, lo que supondría preferencia en la movilización del hierro frente a la arcilla, como sugirieron Lamberts y Livens (1954). Siendo esto el mecanismo, la migración del hierro prosigue hasta que el movimiento de la arcilla origina un "sitio" capaz de fijar los óxidos de hierro (Oades, 1963).

El óxido de hierro adsorbido por la arcilla o al menos movilizado conjuntamente con ella, corresponde en su mayor parte a la fracción denominada "hierro libre" y se encuentra por lo general como óxidos amorfos de hierro, aunque puede tener cierto carácter cristalino. El llamado "óxido de hierro libre" o "hierro libre" es un buen índice de la evolución de los suelos. Las formaciones edáficas jóvenes no suelen tener hierro libre en demasiada cantidad; las de evolución media contienen mayor proporción, y en las más evolucionadas existen formas cristalinas de óxidos e hidróxidos y disminuye el contenido en hierro libre, o al menos éste no es determinable por los métodos usuales.

En el caso de las concreciones, el hierro no está asociado con la fracción arcilla; es fácil encontrar acumulación de hierro en la fracción <20 micras, siendo a veces óxidos de hierro con misión cementante presentes en el suelo (Oades, 1963). A este respecto se ha encon-

trado estadísticamente una correlación positiva entre el estado de agrogación del suelo y su contenido en óxidos de hierro (Lutz, 1937; Filipovich, 1956; etc.). Asimismo se ha comprobado que la extracción de los óxidos de hierro libres de los suelos da origen, por lo general, a un aumento de las fracciones más finas (Truog et al., 1937 y Dion, 1944). Existe la opinión que el aumento de la fracción fina con la eliminación de los óxidos de hierro se debe más a una alteración del suelo debido al tratamiento, que a los óxidos de hierro propiamente dichos.

El color del suelo es, quizás, una de las propiedades más influenciadas por el contenido en hierro, habiéndose intentado relacionar el grado de evolución de los óxidos e hidróxidos de hierro con la gama de colores del suelo, sin que se haya llegado en realidad a nada concreto. En este sentido puede decirse que por lo general los suelos de color amarillento tienen goethita y los rojizos hematites, aunque Iwasa (1965) ha detectado goethita en todos los suelos de la gama del amarillento al pardo oscuro.

Parece que el hecho de que no se encuentre buena relación entre contenido y clase de óxidos de hierro y colores del suelo se debe a la influencia de la materia orgánica, puesto que en los compuestos de hierro obtenidos artificialmente sí se ha podido hallar cierta relación entre colores y naturaleza de los óxidos e hidróxidos. Asimismo se ha establecido en las rocas sedimenta-

rias una dependencia del color con la razón hierro férrico/hierro ferroso (Kamoshita y Yamada, 1956; Stace, 1957; Yanov, 1956; Waegomans y Henry, 1955; Plice, 1962; Kojima, 1962; etc.).

Las vetas y concreciones ferruginosas suelen tener un origen ambiental óxido-reductor debido a la acción de materias orgánicas que actúan en el proceso o a la presencia de una capa freática alternante donde el hierro suele encontrarse en estado ferroso, a no ser que esté como complejo. En otros casos la existencia de cantidades importantes de hierro que saturan las arcillas da lugar a una acumulación de plasma ferrífero que termina formando una concreción (Winters, 1938; Drosdoff y Nikiforoff, 1940; Shorman y Kanchiro, 1954; Hallsworth y Ahmad, 1958; Lavrov, 1950; Bartlett, 1961; etc.).

En la naturaleza se conocen los siguientes compuestos de hierro:

| | | |
|--|---|--|
| Fe_3O_4 | : | Magnetita. Contiene hierro ferroso y férri <u>co</u> . |
| $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ | : | Hematites |
| $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ | : | Maghenita |
| αFeOOH | : | Goethita |
| γFeOOH | : | Lepidocrocita |
| $\text{Fe}(\text{OH})_3$ H_2O | | 'Gel oxi-hidrato férri <u>co</u> |
| βFeOOH δFeOOH | | no es segura su presencia |

En la literatura existen gran cantidad de nombres, tales como limonita, turgita, estilpnosiderita, xanthosiderita, etc., que en realidad corresponden a los anteriores, o a cristalizaciones intermedias, o a diversos grados de hidratación de los mismos. La limonita, por ejemplo, es goethita con más agua de cristalización que la habitual; turgita y xanthosiderita son hematites con más o menos agua de cristalización; la estilpnosiderita es el nombre dado por Mme. Caillère (Portevin, 1952) al compuesto de hierro correspondiente al pico endotérmico que aparece a 150°C en el ATD, etc.

En resumen, en el suelo existen como óxidos o hidróxidos de hierro más comunes: goethita, hematites, maghemita y lepidocrocita en diversos estados de hidratación. Iwasa (1965) explica esta última circunstancia por la frecuente presencia de oxi-hidróxidos amorfos que acompañan a los cristalinos en cantidades variables, y cuyo contenido en agua influye en la hidratación de dichos compuestos.

1.5 - Condiciones de formación de los óxidos de hierro

El hecho de que un suelo contenga con preferencia un óxido o hidróxido de hierro determinado depende de las condiciones ambientales del mismo. Así, la presencia de hematitas es habitual en las zonas secas y fuertemente oxidadas, por lo general próximas a la superficie. La goethita, sin embargo, se encuentra en zonas húmedas aunque bien oxidadas, cosa no rara en horizontes subsuperficiales. Sin duda alguna la goethita es el óxido predominante en regiones templadas, habiéndose podido comprobar esta afirmación por múltiples análisis de suelos (Alexander, Hendricks y Nelson, 1939; Hendricks y Alexander, 1939; Raymond, 1942; Macaulay Institute, 1948; Fripiat y Gastuche, 1949; Mackenzie, 1949; Carroll y Woof, 1951; Taboada, 1953; Wagenaar y Henry, 1954; Schroeder y Schwertmann, 1955; Hoyos y Alías, 1956; Panabokke, 1959; Taylor, 1959; Gonzalez S., 1960; Iwasa, 1965; Gonzalez F. y Perez R., en pr.; etc.).

La lepidocrocita se circunscribe a los moteados pardo naranja característicos de los suelos gley y pseudogley y parece estar bastante bien cristalizada (Brown, 1953; Kamoshita e Iwasa, 1959; Schwertmann, 1959 b). Posteriormente la lepidocrocita pasa a goethita, componente normal de las concreciones originadas en los gleys y pseudogleys.

Para la identificación de maghemita en el suc-

lo se han empleado determinaciones de susceptibilidad magnética, teniendo en cuenta que en dicho mineral ésta es mil veces superior a la de los otros óxidos de hierro, exceptuando la magnetita que se diferencia químicamente por contener hierro ferroso. Por consiguiente, fuerte susceptibilidad magnética y ausencia de hierro ferroso indicará la presencia de maghemita en los suelos.

La presencia de maghemita en el suelo parece depender de una ignición de materia orgánica en presencia de óxidos de hierro o al menos se observa en tales casos fuerte elevación de la susceptibilidad magnética (Van der Marol, 1951; Schoffer, Moyer y Babel, 1959; Le Borgne, 1960; Matsusaka y Sherman, 1961; Oades y Townsend, 1963 b), habiéndose comprobado por el análisis con rayos X la presencia de maghemita en el producto de la combustión (Van der Marol, 1951; Matsusaka y Sherman, 1961). Así mismo no se ha comprobado la presencia de maghemita en zonas pantanosas donde ha existido crenación de turba (Van der Marol, 1951; Schwertmann y Heinemann, 1959; Le Borgne 1960).

Una posibilidad de formación de maghemita es el envejecimiento y oxidación de magnetita natural (Bonifas y Legoux, 1957). Por otra parte parece clara la formación en el suelo de maghemita previa reducción de los óxidos férricos a ferrosos, que se efectúa normalmente por la materia orgánica del suelo (Le Borgne, 1952; Honin

27
y Le Borgne, 1953 y 1954; Shernan y Kanchiro, 1954; Schwertmann, 1959 b; Le Borgne, 1960; Matsusaka y Shorman, 1961; Oades y Townsend, 1963, b). La formación de maghemita a partir de óxidos de hierro amorfos se efectúa en presencia de cantidades apreciables de materia orgánica y condiciones oxidantes. Tales condiciones se dan en los horizontes superficiales de los suelos, habiéndose observado (Oades, 1963) una rápida disminución de la susceptibilidad magnética con la profundidad.

Sin duda alguna las experiencias de laboratorio han contribuido al conocimiento de las condiciones de formación de los óxidos de hierro en el suelo. Trabajando con soluciones de diversas sales de hierro puede ocurrir la precipitación por aumento del pH o por oxidación del hierro ferroso de la solución, ya que el producto de solubilidad del hidróxido férrico es mucho más pequeño, 10^{-38} , que el del hidróxido ferroso, 10^{-14} . Puede obtenerse una mezcla de hidróxidos con un producto de solubilidad de $6 \cdot 10^{-38}$, según Arden (1950).

El estado de valencia del hierro en el momento de la precipitación es crítico para la estructura cristalina del óxido que se forma. Si solo existen iones férricos durante la precipitación se obtiene siempre el óxido α -hidratado que tiene empaquetamiento hexagonal de los átomos de oxígeno. Si hay iones férricos y ferrosos se obtienen γ -hidróxidos con empaquetamiento reticular cúbico (Oades, 1963).

Se ha efectuado la precipitación de hidróxidos a partir de soluciones férricas y ferrosas en presencia de diversos aniones; se obtiene al principio un gel normalmente pardo; dejándolo envejecer en distintas condiciones se comprueba que los factores que mayor influencia tienen para que se forme uno u otro compuesto son: temperatura, hunedad, clase y concentración de iones y sustancias orgánicas. Estos factores, en el suelo, vienen determinados por los componentes químicos de las rocas originales, por la permeabilidad y por las condiciones biológicas y topográficas. Si son favorables al envejecimiento del gel, éste lo hace con rapidez; posiblemente progresará aunque solo sea favorable uno de los factores. En todos los casos, el envejecimiento se influencia por la acción conjunta de los factores del suelo; y aunque es imposible separar cada uno de ellos, puede intentarse un esquema que muestre la acción parcial (Kataoka, 1959).

Si el envejecimiento del gel ocurre en solución salina, se retrasa cuando la solución es concentrada; estas condiciones son fáciles de encontrar en suelos salinos y alcalinos. En condiciones naturales el gel envejece por repetición del proceso de humectación y dilución, o de secado y concentración, de acuerdo con la cantidad de lluvia caída y con la evaporación de la humedad. Los resultados de experiencias de envejecimiento en medios de concentraciones del orden de la normalidad o menores, en agua pura, son como sigue:

En reacción practicamente neutra, el efecto favorecedor de las sales de ácido y base fuerte sobre el envejecimiento del gel es mayor que el de sales de ácido fuerte y base débil; el gel envejece a cristal hematítico. Por ejemplo, en el caso de las sales en las que el Cl^- es el anión común, Na^+ ó K^+ envejece más al gel que los iones NH_4^+ ó Ca^{++} . Las sales de ácido débil y base fuerte, más que las sales de ácido y base débiles. Por ejemplo, en el caso en que el anión común sea el $\text{CO}_3^{=}$, K^+ ó Na^+ más que el Ca^{++} , y tambien en este caso el gel envejece a cristal hematítico.

Las sales de ácido débil y base fuerte dan una reacción alcalina por hidrólisis, elevan fuertemente el pH, evolucionando rápidamente el gel a hematites cristalizada. Con soluciones de pH más elevado (>12) (álcali caústico 1/10 N), tanto el K^+ como el Na^+ llovan al gel a goothita; en solución 1/1000 N (pH 8.9 después del envejecimiento), el gel evoluciona a la mezcla goothita-hematites, como en el envejecimiento en agua pura (Kataoka, 1959). Asimismo cuando la concentración de la solución ácida o alcalina es más baja (reacción neutra o débilmente ácida), el gel evoluciona a la mezcla goothita-hematites, difiriendo del caso de solución salina neutra. Como caso extremo en el envejecimiento en agua pura Weiser (1920) mostró que el gel envejecía a hematites, mientras Kataoka (1959) indica la formación primero de goothita pobremente cristalizada, después hematites y finalmen

te mezcla de ambos con predominio de hematites.

En solución tampón de ácido cítrico y citrato sódico el gel envejeció a goethita en su estado más bajo de cristalización, teniendo un pH 4.5-6.5 después del envejecimiento. Este resultado parece estar de acuerdo con el envejecimiento hacia formación de mezcla de goethita y hematites (Kataoka, 1959).

En la alteración de minerales, por ejemplo, en la hidrólisis de la ortoclasa, se produce OH^- acompañado de K^+ ; y cuando el gel se encuentra junto con estos iones, envejeció posiblemente a goethita o a mezcla de goethita-hematites. Pero en condiciones naturales influye el dióxido de carbono en el medio de envejecimiento y será raro que el gel evolucione a goethita bien cristalizada (Kataoka, 1959). Asimismo se tiene un medio alcalino en la alteración por hidrólisis de silicatos de aluminio, calcio y magnesio, tales como augita, hornblenda, plagioclase, olivino, etc. La alteración de biotita por hidrólisis produce bases fuertes o débiles, como KOH o $\text{Mg}(\text{OH})_2$ pasando el gel pardo en este medio de alteración a hematites o cristal hematítico por influencia del anión $\text{CO}_3^{=}$. Por último, frente a carbonato de calcio o carbonato de calcio y magnesio el gel evolucionará a hematites con algo de goethita.

El envejecimiento del gel no solo está relacionado con la composición química del medio, condicionada por la alteración de los minerales, sino que también influ

ye el clima, siendo más rápido el envejecimiento del gel pardo al aumentar la temperatura. Por tanto la velocidad de envejecimiento de los geles será superior en los trópicos, menos en la zona templada y aún menos en la fría. Pero el clima no solo condiciona la temperatura, sino también otras características del medio de envejecimiento; así en la zona fría húmeda existen podsoles, en estos suelos el gel pardo se inestabiliza por los ácidos húmicos y emigra al subsuelo, lo que dificulta que pase a cristal en la superficie de los mismos.

Próximo a los trópicos, en la zona templada, es muy activo el proceso de alteración de las rocas, no siendo raro que la reacción en la parte alterada sea alcalina al ser las bases los primeros productos liberados en el proceso. Entonces la velocidad de envejecimiento del gel pardo se afecta en las inmediaciones del material alterado por su composición y reacción.

El medio de envejecimiento en las regiones áridas es frecuentemente alcalino, con acumulación de sales, por lo que se retarda el envejecimiento del gel pardo en los suelos de dichas regiones.

Las condiciones de envejecimiento del gel pardo pueden relacionarse con las de formación de minerales de la arcilla. La mejor evolución del gel pardo corresponde a las condiciones de formación de montmorillonita e illita; las de caolinita no son tan eficientes como las anteriores. En los medios en los que el mineral arcillo-

so básico formado es del tipo de la sepiolita o atapulgita, se retarda el envejecimiento del gel.

Del proceso de podsolización se deduce que los ácidos húmicos peptizan el gel pardo. Según las experiencias de Kataoka (1959) algunos compuestos orgánicos, como ácido succínico y ácido ftálico, retardan el envejecimiento del gel, como si existiera ión alcalino; en soluciones débilmente ácidas o neutras estas sustancias orgánicas son estabilizantes del gel pardo. El ácido cítrico favorece ligeramente el envejecimiento del gel; en solución acética débilmente ácida el gel adquiere cierto carácter goethítico. En general, las sustancias orgánicas no son buenas promotoras del envejecimiento del gel pardo.

Respecto a las condiciones de humedad se comprueba que la repetición continuada del proceso de secado y humectación en el gel produce su envejecimiento, llegando a formarse la mezcla goethita-hematites. También promueven envejecimiento las altas temperaturas y la luz solar, mientras que las condiciones contrarias, bajas temperaturas y oscuridad, determinan un retardo en el proceso.

Una vez seco el gel, es difícil progresar su envejecimiento; el gel secado a 105°C o extraído rápidamente con acetona da una forma amorfa, sin líneas de difracción de rayos X. Sin embargo, como se ha indicado, la alternancia de secado y humectación permite al gel prose-

guir su envejecimiento o cristalización mas rápidamente que si lo hiciera bajo agua. Por ello en los trópicos el gel se envejece rápidamente.

Resumiendo, los factores que influyen en el envejecimiento del gel son temperatura, pH, y condiciones alternantes de humectación y secado. Por lo general baja temperatura y alto pH favorecen la formación de goethita, mientras que alta temperatura y bajo pH favorecen la de hematites (Kataoka, 1959).

Para la formación de maghemita y lepidocrocita en los suelos ha de ser a partir de compuestos ferrosos precipitándolos por aumento del pH, dependiendo la obtención del óxido de hierro cristalizado de la rapidez del proceso, del pH y de la presencia de iones carbonato (Mayne, 1953; Francombe y Rooksby, 1959; Schwertmann, 1959 c). En general la oxidación del hidróxido ferroso, en ausencia de iones carbonato, a pH 4-5, da lugar a lepidocrocita pobremente cristalizada; si ese pH es de 5 a 8, la lepidocrocita producida está perfectamente cristalizada; si el pH es superior a 8-9, se obtienen mezclas de magnetita y maghemita; si la oxidación es lenta predominará la segunda. La presencia de iones carbonato, a pH neutro, hace que se detenga la evolución a lepidocrocita, pasando a goethita en especial si la oxidación es lenta.

Puede ser de interés indicar los diferentes métodos de preparación en el laboratorio de los principales óxidos e hidróxidos de hierro del suelo en relación con

la génesis de los mismos en los distintos medios edáficos (Oades, 1963; Tamura y Jackson, 1953; Scheffer, Welto y Ludweig, 1958).

Goethita

- a) Lenta precipitación de iones férricos en solución a bajo pH.
- b) Envejecimiento del gel de hidróxido férrico a alta temperatura y pH.
- c) Oxidación de carbonato ferroso o hidróxido ferroso en presencia de iones carbonato.

La formación de goethita en suelos puede tener lugar según estos tres métodos, si bien parece más factible el (a).

Lepidocrocita

Es imposible la preparación directa a partir de hierro férrico. Los procedimientos más adecuados son:

- a) Oxidación de hidróxido ferroso a pH 4 - 8 en ausencia de iones carbonato.
- b) Oxidación de bicarbonato o sulfuro ferroso.

En los suelos la lepidocrocita suele encontrarse en condiciones de baja concentración de carbonatos y oxígeno. Frecuentemente existe en los horizontes profundos de suelos de inundación.

Hematites

- a) Todos los óxidos de hierro pasan a hematites al calentar a una temperatura suficientemente alta.

- b) Envejecimiento del gel de hidróxido férrico a temperatura alta y en solución alcalina muy diluída.
- c) Secado rápido de las películas de carbonato ferroso.

La síntesis natural de la hematitas parece improbable en climas húmedos, ya que es necesaria para su formación una época seca con altas temperaturas.

Maghenita

Bernal, Dasgupta y Mackay (1959) distinguen varios tipos de maghenita

- 1) $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ totalmente ordenada
- 2) $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ cúbica
- 3) $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ con estructura semejante a la del ferrito de litio
- 4) La de dimensión elemental $a = 8.35 \text{ \AA}$.

De acuerdo con el método de preparación se obtienen las distintas estructuras:

- a) Oxidación de magnetita (tipo 2)
- b) Deshidratación de lepidocrocita (tipo 4)
- c) Oxidación de hidróxido ferroso, utilizando agua oxigenada, a pH 9, y 100°C de temperatura (tipo 2)
- d) Ignición de algún óxido de hierro amorfo en presencia de materia orgánica (tipo 2)

La maghenita en la naturaleza puede formarse, según Bonifas y Logoux (1957), por oxidación de magneti-

ta, por ignición de óxido de hierro amorfo en presencia de materia orgánica, y por evolución de los óxidos amorfos en presencia de la materia orgánica del suelo.

Oxidos férricos amorfos

- a) Envejecimiento del gel hidróxido férrico.
- b) Hidrolisis de compuestos férricos.

En el suelo probablemente los óxidos férricos amorfos se forman según el proceso (b).

Magnetita

- a) Precipitación de una mezcla de iones ferroso y férrico.
- b) Lenta oxidación de iones ferrosos en solución.
- c) Oxidación de hidróxido ferroso, por medio de agua oxigenada, a bajas temperaturas.

En el suelo probablemente se formará por los procesos (a) ó (b).

1.6 - El hierro en la sistemática de los suelos

En las clasificaciones de suelos se han venido utilizando los contenidos en óxidos de hierro, las concreciones ferruginosas y la proporción de hierro libre como características para construir clases, subclases, grupos, etc, o definir horizontes de diagnóstico y otros. Recientemente se ha ampliado la utilización del hierro en la sistemática de los suelos con criterios micromorfológicos.

Se debe a Kubiena (1937, 1944, 1952, 1963) el desarrollo del método micromorfológico y su aplicación al estudio de los suelos. Su eficacia se pone de manifiesto en numerosos trabajos de la especialidad (Frei, 1964; Dobrovolsky, 1964; Hamilton, 1964; etc.) y en el empleo que del mismo se hace en la clasificación americana (7ª aproximación). Así por ejemplo, la diferencia fundamental de los horizontes argílico y cámbico, según la 7ª aproximación, está en lo que Brewer (1964) llama cutanes, -"modificación de la textura, estructura, o contextura en las superficies naturales del suelo debido a la concentración de constituyentes particulares del suelo o a la modificación in situ del plasma; su material constituyente puede ser cualquiera de las sustancias presentes en el suelo"- . Los cutanes de iluviación caracterizan a los horizontes argílicos, y los de difusión o fuerza a los cámbicos. Estos horizontes en general coinciden con el B y (B), respectivamente, de las clasificaciones eu-

ropeas de suelos.

Otros horizontes en los que el contenido y forma del hierro tiene importancia son: el B de los podsoles, horizonte spódico, "acumulación de los sesquióxidos y materia orgánica, o materia orgánica sólo", y el B de los suelos tropicales, normalmente coincidente con el óxico de la 7ª aproximación, "contenido mínimo de un 15 % de arcilla de los que el 90 % es una mezcla de sesquióxidos y arcillas de red 1:1; la razón de sesquióxidos libres a arcilla es de un 12 % o más". Finalmente intervienen óxidos de hierro de los duripanes y fragipanes en los que forman parte como agentes cementantes.

En las claves sistemáticas de suelos de Kubiena (1952) la proporción, naturaleza, forma y disposición de los óxidos de hierro adquiere por primera vez una importancia decisiva en la caracterización y ordenación de suelos. Así en la Clase Terrae calxis (Terra fusca y Terra rossa) y en los Platosols (Braunlehm y Rotlehm) existen estructuras fluidales birrefringentes; la presencia del hierro en los diversos tipos adopta formas variables: homogéneamente repartido, como en la Terra fusca y el Rotlehm; peptizado, como en la Terra rossa y el Braunlehm; en concreciones pardo oscuras, como en la Terra fusca y el Braunlehm; o en concreciones y separaciones rojas, como en la Terra rossa y el Rotlehm.

En la Braunerde, sin embargo, no existen estructuras fluidales ni hierro peptizado, sino hierro flocula-

do que da un aspecto esponjoso a la masa fundamental; el grado de floculación parece depender tanto del contenido en bases como del clima: clima seco y pobreza de bases da floculación; clima húmedo y riqueza en bases da poca floculación. La Braunerde meridional tiene características de Tierra parda y Braunlehm.

En los Gley y Pseudogley el hierro es claramente visible, marcando los horizontes característicos de estos suelos.

En los Gley el horizonte se representa por G y es de un tono gris o azulado por la acumulación de hierro existente en este horizonte debida a las condiciones de constante inundación que presentan estos suelos. La inundación es estacional en el Pseudogley siendo lo que origina la movilización y precipitación alternante del hierro en estos suelos, dando lugar en los horizontes gleyzados, - en este caso g_1 y g_2 -, a manchas y líneas grises, amarillo-ocre y pardo-ocre, propiedad esencial del Pseudogley, cuya posterior evolución es el gran número de nódulos y concreciones ferruginosas que suele presentar este tipo de suelo. Las concreciones no tienen un patrón definido, siendo la irregularidad su norma.

En la clasificación francesa no se hace uso de la micromorfología, pero de un modo análogo, aunque menos preciso, que en la 7ª aproximación en algunas Clases, subclases, grupos y subgrupos de suelos, los contenidos de hierro son definitorios. Tal ocurre por ejemplo en los

suelos ferralíticos, que son caracterizados por los óxidos de hierro y aluminio.

En los suelos rojos mediterráneos, y en los gley y pseudogley se siguen criterios análogos de los de la clasificación alemana en cuanto al hierro se refiere.

En los suelos podsólicos, existe un enriquecimiento en hierro característico en el horizonte B; los compuestos ferruginosos parecen desempeñar un papel esencial en la insolubilización de los complejos orgánicos solubles de este horizonte.

Finalmente en los suelos pardos la presencia de flóculos de complejos arcilla-humus-óxidos de hierro actúan como agentes cementantes al mismo tiempo que parecen ser responsables del color de dichos suelos.

Revisados los principales aspectos del hierro en los suelos, en las páginas que siguen de este trabajo se exponen y comentan las formaciones edáficas más importantes de Andalucía Occidental, previa descripción de las características geológicas, climáticas y la vegetación de la zona. Se describen veinte perfiles y se indican los métodos experimentales empleados para la caracterización general de los mismos y para abordar el estudio del contenido, distribución y formas de hierro en los materiales correspondientes.

Para alcanzar los objetivos propuestos se examinan y comentan los datos experimentales relativos al

contenido en Fe_2O_3 total, Fe_2O_3 libre (Deb, modificación de Robichet) y % de Fe_2O_3 libre/total. A continuación los resultados se comentan respecto a la composición química y granulométrica de los suelos, lo cual permite un primer conocimiento de la distribución del hierro en las distintas formaciones edáficas y en sus constituyentes minerales. Las formas del hierro se estudian en especial identificando los óxidos e hidróxidos en las arcillas. Por último, la investigación microscópica de los suelos en láminas delgadas, auxiliada con los estudios precedentes, proporciona un camino valioso para discutir los resultados en orden a la génesis, evolución, morfología y sistemática de los suelos de Andalucía Occidental en relación a los mencionados problemas del hierro.

2 - SUELOS ESTUDIADOS Y METODOS EXPERIMENTALES

Los suelos y sus constituyentes han de ser estudiados en relación con las características del medio natural del que forman parte; en especial es necesario tener presente los factores geológicos, climáticos y de vegetación, los cuales juntamente con la influencia del hombre determinan una serie de procesos edafológicos que en definitiva son responsables de las propiedades que aquellos adquirieron en su génesis y evolución.

Por otra parte, el individuo suelo, o un suelo concreto, - en general representado por su perfil - aparece en el paisaje junto a otros suelos, constituyendo un todo continuo. Por ello se estima conveniente situar los distintos perfiles estudiados en las correspondientes asociaciones de suelos de Andalucía Occidental.

2.1 - Geología

La geología de la zona es muy variada. Los terrenos del Paleozoico se encuentran exclusivamente en Sierra Morena, donde dominan formaciones del Cámbrico y Silúrico con pizarras, grauvacas, esquistos, filitas, etc. El Mesozoico aparece localizado en las Sierras Subbóticas, constituídas por afloramientos de calizas duras jurásicas sobre materiales margosos del Triás (Kouper) y calizas blandas cretácicas. Entre Sierra Morena y las Sierras Subbóticas se encuentra la amplia Llanura Bética

que comprende los valles de los ríos Guadalquivir, Tinto, Odiel y Guadalete, cuyos materiales corresponden al Terciario y Cuaternario. El Sur de la zona pertenece a la parte Occidental de la Cordillera Penibética, formada en este tramo por sedimentos silíceos del Oligoceno (areniscas del Algibe) que determinan alineaciones montañosas con terrenos margosos del Eoceno en las laderas y partes bajas (Hernandez P., 1932; Hernandez S., 1935; Dantin, 1950; Hernandez P., 1926; Barras, 1899; Gavala, 1929 (1), 1929 (2), 1933, 1935; Masachs, 1947; Solé, 1934; Prieto y Alastrúo, 1952).

Clima

El clima de Sierra Morena se clasifica en general como subhúmedo. En la parte noroccidental, con altitudes comprendidas entre los 800 y 1000 metros, la pluviosidad alcanza los 1000 mm; en otras áreas la precipitación varía entre 600 y 800 mm anuales. La temperatura media anual es de 15°C en las sierras más elevadas y húmedas y 18°C en el resto.

El clima de la Llanura Bética se clasifica como seco-subhúmedo, con fuertes oscilaciones térmicas, escasa precipitación y veranos extremadamente secos. La pluviosidad media es del orden de 500 mm, encontrándose la zona más seca entre Córdoba y Sevilla. La temperatura media de la región es de 18.5°C, siendo la media de las máximas de 25°C y la de las mínimas de 12°C; la media de las mínimas de invierno es de 5.83°C y la media de las

máximas en verano es de 35.16°C, y la mínima absoluta es de -5°C, siendo la máxima absoluta de 46.6°C.

En las Sierras Subbéticas el clima pertenece al de montaña media, siendo aquí el relieve, como en Sierra Morena, un factor dominante en las características climáticas locales. Así en las sierras jurásicas de Cádiz, Córdoba y Jaén la pluviosidad es bastante alta, oscilando entre 1000 y 2000 mm, mientras que en las depresiones la precipitación media anual oscila entre 600 y 800 mm.

El clima del extremo occidental de la Cordillera Penibética se puede considerar en general como húmedo. En su mitad norte esta zona tiene una pluviosidad que oscila entre 1000 y 1500 mm y en la parte sur entre 800 y 1000 mm. A esto se une una humedad relativa alta y temperaturas moderadas. En esta región los vientos ejercen una influencia importante en las características climáticas; los del Atlántico, del O. y S.O., son húmedos y frescos, mientras que el viento del E. y S.E., "Levante", de origen africano, es seco, a veces abrasador y potente y llega a constituir un factor limitante para muchos cultivos (Carbajal y Martín Aranda, 1962).

Vegetación

La vegetación natural de Sierra Morena corresponde, entre 400 - 600 mts altitud, al Oleo Ceratonion, con los subdominios de Asparageto Rhamnetum Coridothymetosum, A. R. Cistetosum y A. R. Halimietosum; a partir

de 600 mts corresponde al dominio climático del Quercion Rotundifolii, subdominios Pireto Quercetum Suberetosum, Pireto Quercetum Illicetosum y Pireto Quercetum Faginetosum.

El Valle Bótico pertenece al dominio climático Oleo Ceratonion, con los subdominios de Asparageto Rhamnetum Coridothymetosum, A. R. Cistetosum y A. R. Halmietosum. Las áreas de vegas corresponden al dominio climático del Populion Albae.

En las Sierras Subbéticas sigue existiendo el dominio climático del Oleo Ceratonion, con los subdominios Asparageto Rhamnetum Coridothymetosum, A. R. Acha-maerosum, A. R. Mirbeckietosum, A. R. Oleoidis Ceratonietosum y otros.

Igualmente la región Penibética o Campo de Gibraltar existe el dominio climático del Oleo Ceratonion, con los subdominios Asparageto Rhamnetum Cistetosum y A. R. Cytesetosum como más extendidos, al que se añade el Quercion Faginae (variedad gaditana) y el Rhododendro Alnion. Las áreas de vega corresponden al Populion Albae (Rivas Goday y Fernandez Galiano, 1962).

2.2 - Suelos

Los perfiles elegidos para el presente estudio corresponden en la cartografía de suelos de Andalucía Occidental, (Paneque y Mudarra, 1962, 1963, 1968 y en prensa) a las siguientes principales asociaciones edáficas:

2.2.1 - Asociación de Regosuelos, Rankers y Suelos pardos sobre arenas.

Son suelos jóvenes desarrollados sobre sedimentos arenosos. Se sitúan en el S.O. de la región, estando representados principalmente en la provincia de Huelva.

En las dunas costeras y en las zonas arenosas del Llano de Huelva, bajo vegetación de matorral más o menos claro, el suelo tiene escaso desarrollo y el perfil es del tipo (A)C y AC (regosuelos y rankers arenosos). El perfil, por lo general profundo, es bastante uniforme en sus características. Cuando la vegetación natural o la repoblación forestal crean un ambiente favorable, y en especial con la modificación de la textura del sedimento hacia menos arenosa, aparecen suelos de mayor evolución, del tipo de ranker pardo o suelo pardo joven, de perfil A(B)C poco desarrollado.

En áreas diversas, en donde el sustrato impide una libre circulación de agua, se encuentran suelos con hidromorfismo. Se trata de rankers y suelos pardos arenosos con pseudogley, estando a veces el nivel freático a menos de un metro de profundidad; en estas áreas la vegetación es de juncos, helechos, brezos, etc.

Los suelos de esta asociación pueden situarse en la clasificación francesa, en la subclase 2 de la Clase primera y subclase 1, de la clase segunda; en la de Kubiena se consideran en la Clase de Suelos brutos terrestres y de suelos rankeriformes; y en la americana (7ª aproximación) en los Quartzipsamment.

Por tratarse de suelos jóvenes no presentan en general muchos problemas respecto al hierro. En la micro morfología se aprecia humus moder intergranular y ciertos cutanes granulares. En el caso de suelos con hidromorfismo profundo, el plasma arcilloso contiene separaciones de hierro, apreciándose de manera clara concreciones ferruginosas.

2.2.1.1 - Descripción de los perfiles I y II.

Suelos del Llano de Huelva sobre sedimentos villafranquienses marmorizados. El paisaje en que se encuentra es en general plano, variando algo al aproximarse a la costa con la aparición de dunas. El drenaje lateral es bueno y el interno depende de la profundidad a que se encuentre el sedimento.

Perfil I. "Mazagón" (Palos, Huelva) R.a.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|--------------------------------|---|
| 0 - 22 | A ₀ +A ₁ | Gris parduzco claro (10 YR 6/2); arenoso; granos individuales sueltos; poroso; muy permeable; no calizo; muy ligeramente orgánico; pocas raíces finas y abundantes gruesas; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas aisladas; límite gradual e irregular. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-------------------|--|
| 22 - 50 | A/C | Pardo amarillento claro (10 YR 6/4) arenoso; granos individuales sueltos; poroso; muy permeable; no calizo; pocas raíces; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas mayores, poco frecuentes; límite gradual y liso. |
| 50 - 75 | C ₁ | Pardo amarillento claro (10 YR 6/4) arenoso; suelto; granos individuales; poroso; muy permeable; no calizo; concreciones ferruginosas pequeñas más frecuentes; límite gradual y liso. |
| 75 - 90 | C ₂ | Pardo amarillento claro (10 YR 6/4) y amarillo pálido (2.5 Y 7/4); arenoso; granos individuales; suelto; poroso; muy permeable; no calizo; concreciones ferruginosas gruesas y finas; límite claro e irregular. |
| 90 - 120 | Dg ₂₋₁ | Abigarrado: rojo (2.5 YR 4/8), pardo amarillento (10 YR 5/8) y pardo pálido (10 YR 6/3); limo-arcillo arenoso; estructura polidrica subangular gruesa, nodosamente desarrollada; firme; algo poroso; poco permeable; no calizo; restos de raíces; límite difuso e irregular. |
| 120--- | Dg ₂₋₂ | Abigarrado: color matriz pardo amarillento (10 YR 6/6); iguales características que el horizonte anterior. |

Perfil II, "Hinojos" (Alnonte, Huelva) R.a. (fot.1)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|--------------------------------|---|
| 0 - 3 | A ₀ +A ₁ | Pardo gris oscuro (10 YR 4/2); arenoso; partículas individuales y grumos medios débilmente desarrollados; muy friable; poroso; muy permeable; no calizo; ligeramento orgánico; raíces finas; mediana actividad biológica; límite claro y discontinuo. |

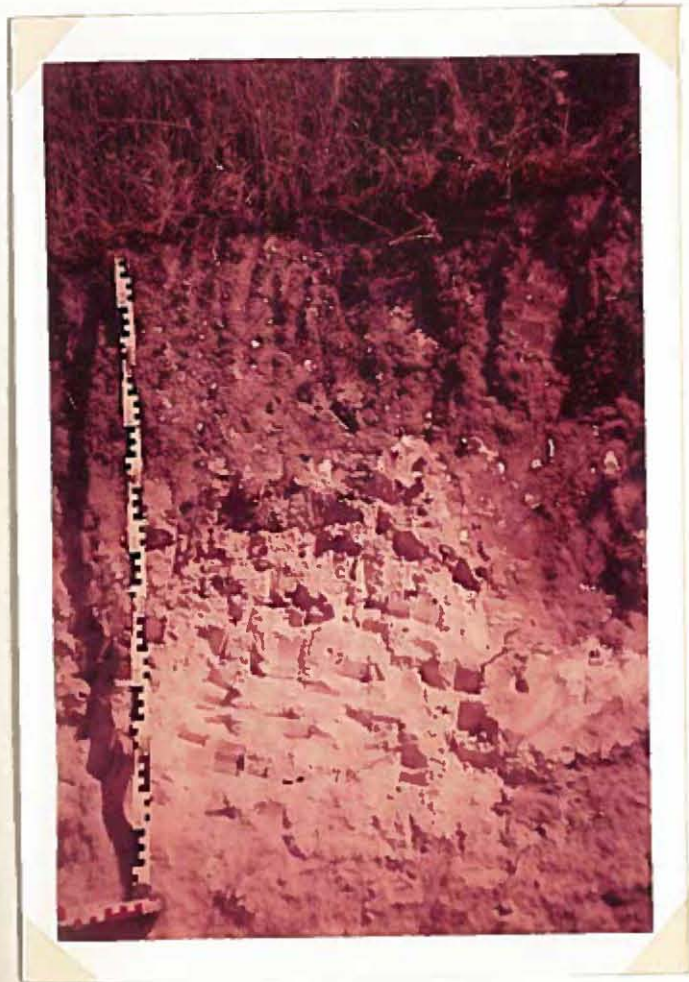
| <u>Prof.cns.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------|--|
| 3 - 30 | A ₁ | Pardo oscuro (10 YR 4/3) con algunas manchas más claras; areno <u>li-</u> oso; granos individuales; muy friable; poroso; muy permeable; no calizo; abundantes raíces gruesas con preferente penetración <u>hō</u> rizontal; actividad biológica <u>ne-</u> diana; límite gradual y liso. |
| 30 - 50 | A/C | Pardo amarillento (10 YR 5/4); a- <u>re</u> no; granos individuales; <u>suol</u> to; poroso; muy permeable; no ca- <u>li</u> zo; escasas raíces gruesas; po- <u>ca</u> actividad biológica; límite gradual y liso; vetas difusas algo más claras. |
| 50 - 60 | C | Pardo amarillento claro (10 YR 6/4) arenoso; granos individuales; <u>suol</u> to; poroso; muy permeable; no ca- <u>li</u> zo; pocas raíces gruesas hori- <u>zontales</u> ; escasa actividad bioló- <u>gica</u> ; concreciones ferruginosas; límite claro y liso. |
| 60 - 80 | Dg ₁ | Pardo amarillento (10 YR 5/6); <u>li</u> no arcillo arenoso; con algunas gravillas; estructura poliédrica subangular gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; poco permeable; no calizo; pocas raíces medias; escasa actividad biológica; concreciones ferrugino- <u>sas</u> pequeñas, aisladas; límite claro y liso. |
| 80 --- | Dg ₂ | Abigarrado: pardo rojizo (2,5 YR 4/4) y gris claro (10 YR 7/1); <u>li</u> no arcillo arenoso, con gravillas pequeñas y nodias; estructura pc- <u>li</u> édrica gruesa fuertemente desa- <u>rr</u> ollada; firme; poco poroso; muy poco permeable; no calizo; restos de raíces. |

Fot. 1.- Perfil II. Ranker arenoso (R.a.)
"Hinojos" (Almonte, Huelva)

Fot. 2.- Perfil III
Rendsina (REN.)
"Algarabejo"
(Arahal, Sevilla)



Fot. 1.- Perfil II. Ranker arenoso (R.a.)
"Hinojos" (Almonte, Huelva)



Fot. 2.- Perfil III
Rendsina (REN.)
"Algarabejo"
(Arahal, Sevilla)

2.2.2 - Asociación de Suelos brutos calizos, Xero-rendsinas y Rendsinas sobre calizas, areniscas calizas y calizas margosas.

Suelos muy calizos y de colores gris claro, gris a gris oscuro, de perfil AC ó ACaC, formados sobre calizas, areniscas calizas y calizas margosas. Están sometidos desde muy antiguo a cultivo, por lo que el horizonte A es casi siempre antrópico y se encuentra mezclado con el horizonte C, dando suelos muy claros que en zonas altas erosionadas son suelos brutos calizos. También en áreas elevadas se encuentra un suelo suelto, gris claro, sobre caliza muy dura que aflora a la superficie en trozos, poco profundo, que se considera como xero-rendsinas.

Sobre calizas margosas se forma un suelo de color gris más o menos oscuro, de textura más pesada que los anteriores, de estructura grumosa, poco orgánico y de unos 20 cms de espesor (horizonte A ó Ap), bajo el cual aparece el material original alterado (marga) enriquecido en concreciones calizas (horizonte Ca/C). Estos suelos se consideran como rendsinas o suelos rendsiniformes. Los suelos de esta asociación están por lo general dedicados a olivar, vid y cereales.

En la provincia de Huelva son los suelos que dominan en la región del Condado; en la de Sevilla se distribuyen de una manera muy compleja por toda la campiña, estando más representados en la amplia comarca comprendida entre Ecija, Estepa y Lebrija; en la de Cádiz destacan

las "tierras albarizas" del "Rincón de Jerez", así como áreas importantes en Arcos y Villanartín entre otras; en la de Córdoba se extienden principalmente por los términos de Puente Genil, Luccna, Baena y Castro del Río; y en la de Jaén la zona más importante de suelos rendsiniformes se encuentra entre Villanueva del Arzobispo, Linares, Martos, Jaén y Quesada.

Los suelos de esta asociación corresponden a la Clase III de la clasificación francesa, Suelos Calcomagnosiformes, subclase de suelos rendsiniformes; en la de Kubiena a la Clase de Suelos rendsiniformes, y en la americana al Orden Mollisols, suborden Rendolls; el perfil estudiado puede considerarse más bien como Xerochrept.

Estos suelos poseen un elevado contenido en calcio, y el hierro se insolubiliza con la caliza activa.

2.2.2.1 - Descripción del perfil III

Perfil III. "Algarabejo" (Arahal, Sevilla) REN. (fot. 2)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------------------------|---|
| 0 - 20 | Ap | Gris parduzco claro (10 YR 6/2) en seco; limo arcillo arenoso; estructura grumosa; friable; algo poroso; permable; reacción caliza; apreciable materia orgánica; débilmente enraizado; límite gradual y liso. |
| 20 - 40 | A (B) ^{Ca} | Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; arcillo arenoso; grumoso; friable; poco permable; reacción caliza; materia orgánica apreciable; límite difuso y liso. |
| 40 - - | ^C (B) Ca | Pardo gris oscuro (10 YR 4/2) en húmedo; arcilloso; estructura subpoliédrica; algo compacto; poco permable; reacción caliza; materia orgánica apreciable; cortes con brillo cónico. |

2.2.3 - Suelos margosos béticos: suelos vérticos litomorfos sobre margas.

Suelos de color pardo amarillento o pardo gris oliva, de textura pesada, de perfil del tipo AC, A(B)C ó A(B)gC, desarrollados sobre margas del Mioceno y Eoceno. Los casos de mayor desarrollo tienen estructura prismática en los horizontes intermedios y poliédrica en el material original. Son de muy escasa permeabilidad y extraordinariamente plásticos y densos en estado húmedo. Con frecuencia presentan horizontes profundos pseudogleizados y siempre de carácter vértico más o menos manifestado. Son de escaso contenido de materia orgánica, relación C/N 10 aproximadamente, pH alcalino, alta saturación en calcio y de moderado contenido en carbonato cálcico que aumenta ligeramente en profundidad. Son muy frecuentes en el Valle Bético, apareciendo muchas veces en lomas y terrazas con carácter pedregoso. Por lo general ocupan áreas extensas de suaves ondulaciones, principalmente en las provincias de Sevilla y Córdoba. En la de Cádiz predominan estos suelos en la zona del Campo de Gibraltar donde se presentan sobre margas del Eoceno, existiendo áreas poco extensas en el "Rincón de Jerez" sobre margas del Mioceno.

En la clasificación francesa se consideran como vertisoles litomorfos (Clase IV, subclase 2); en la de Kubiena no existe una referencia adecuada pudiéndose relacionar con el Braunlehm calizo y terroso. En la clasifi-

cación americana de 1964 pueden enmarcarse en los Grumus-
tert, y en la del 67 parece más adecuado en los Chronoxe-
rert.

En estos suelos por poseer un apreciable conte-
nido en caliza la descomposición química no es en general
muy intensa. En profundidad presentan muchas veces indi-
cios de pseudogleyzados; la micromorfología muestra cier-
ta peptización del hidróxido de hierro y a veces forma-
ción de concreciones.

2.2.3.1 - Descripción del perfil IV

Perfil IV, "Cuesta del Espino (Córdoba) S.M.V.(fot.3)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------|---|
| 0 - 5 | Ap | Oliva pálido (5 Y 6/3); lino arcil- loso; estructura grunosa media y gruesa fuertemente desarrollada; friable; algo poroso; permeable; calizo; ligeramento orgánico; rai- cos finas; mediana actividad bioló- gica; límite claro e irregular. |
| 5 - 35 | Ap/(B) | Oliva pálido (5 Y 6/3); lino arcil- loso; estructura compuesta: pris- mática, poliédrica subangular y grunosa gruesa, de nodosa a dó- bilmente desarrollada; firme; al- go poroso; poco permeable; calizo; ligeramento orgánico; raíces finas mediana actividad biológica; lími- te difuso e irregular. |
| 35 - 70 | (B) | Oliva pálido (5 Y 6/3) con vetas muy difusas pardo amarillentas y grises; arcilloso; estructura pris- mática gruesa, fuertemente desarro- llada; firme; compacto; poco per- meable; calizo; raíces finas; lími- te difuso e irregular. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|----------------|--|
| 70 -150 | C ₁ | Pardo oliva claro (2.5 Y 5/2) y amarillo parduzco (10 YR 6/6); arcilloso; estructura prismática y poliédrica media, moderadamente desarrollada; firme; compacto; poco permeable; calizo; escasas raíces. |



Fot. 3.- Perfil IV. Suelo margoso vértico (S.M.V.)
"Cuesta del Espino" (Córdoba)



Fot. 4.- Perfil VII. Tierra negra andaluza (T.N.A.)
"Marchena-Ecija" (Sevilla)

2.2.4 - Tierras negras andaluzas: vertisoles topolitonorfos sobre margas y calizas.

Suelos desarrollados sobre materiales ricos en arcilla de tipo montmorillonítico (margas y calizas margosas), en áreas de topografía llana y depresiones, con clima seco-subhúmedo. Estas y otras condiciones determinan el carácter de vertisol topolitonorfo de las tierras negras andaluzas.

Las tierras negras andaluzas son suelos profundos, de color pardo gris muy oscuro, de textura pesada y de estructura grumosa en superficie y poliédrica o prismática, fuertemente desarrollada, en profundidad. Son de reacción moderadamente alcalina, aumentando la proporción de carbonatos ligeramente en los horizontes profundos, poco permeables y mal drenados. Debido a la naturaleza y alta proporción de arcilla retienen mucha humedad. A veces muestran señales de gleyzación, y casi siempre existen en el subsuelo condiciones reductoras más o menos intensas. Se encuentran principalmente entre las provincias de Sevilla y Cádiz; en la de Córdoba están menos representados, y en el resto de la región apenas existen.

Los vertisoles topolitonorfos constituyen grupos de la subclase 1, Clase IV, de la clasificación francesa; en la sistematización de Kubiena no se encuentran perfectamente definidos, aunque se pueden encajar en las tierras negras con humus antrópico cálcico, evolucionando a mull, semejante a los tirs. Para la clasificación ameri

cana es un vertisol típico, incluyéndolo la de 1964 en los Grunaquort, y la de 1967 en los Pelloxerert.

Los problemas del hierro en estos suelos son diversos; en algún caso existen condiciones de óxido-reducción que dan origen a manchas de pseudogley. Quizás el máximo interés radique en el color del suelo, que se ha atribuido al hierro formando parte de complejos orgánicos o localizados entre las láminas de la arcilla montmorillonítica, en condiciones tales que dan el color característico. Conviene hacer constar lo indicado por Iwasa (1965) referente a las concreciones de siderita presentes en el suelo, de color blanco, que al airearse se ennegrecen antes de pasar a goethita, producto final de la oxidación. En realidad no se conoce exactamente la causa del color oscuro de estos suelos, pero las condiciones hidromórficas, el contenido en calcio, la naturaleza de la arcilla y las características biológicas son de la mayor importancia.

2.2.4.1 - Descripción de los perfiles V, VI y VII.

Perfil V. "Caboza del Sordo"(Alcalá de Guadaira, Sevilla)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------|--|
| 0 - 20 | Ap | Pardo gris oscuro (2.5 Y 3/2) en húmedo, gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; lino arcilloso; estructura granular grumosa; algo compacto; de permeable a medio; moderadamente calizo; ligeramento orgánico; pequeñas concreciones ferruginosas; enraizado; límite difuso y liso. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------|---|
| 20 - 50 | B | Pardo rojizo oscuro (5 YR 2/2) en húmedo; arcilloso; estructura poliédrica; compacto y poco permeable; nodoradamente calizo; ligera mente orgánico; pequeñas concreciones ferruginosas; límite difuso y liso; corte con brillo céreo. |
| 50 - 88 | B/C | Pardo rojizo oscuro (5 Y 2/2) en húmedo; arcilloso; estructura poliédrica; algo compacto; poco permeable; nodoradamente calizo; ligeramente orgánico; puntos calizos; límite difuso y liso. |
| 88 --- | C | Pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; arcilloso; estructura granular poliédrica; friable; poroso; permeable; muy calizo. |

Perfil VI. "El Sorbito"(Utrera, Sevilla) T.N.A.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------|---|
| 0 - 15 | Ap ₁ | Gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; arcillo arenoso; estructura grumosa granular; algo friable; poroso; permeable; nodoradamente calizo; muy ligeramente orgánico; ligera actividad biológica; buena penetrabilidad; no existen concreciones, sólo algunos puntos calizos; límite difuso y liso. |
| 15 - 30 | Ap ₂ | Gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; arcillo arenoso; estructura grumosa; algo friable; poroso; algo permeable; de nodorado a nodosamente calizo; muy ligeramente orgánico; ligera actividad biológica; límite difuso y liso. |
| 30 - 45 | B/Ca | Gris muy oscuro (10 YR 4/1) en húmedo; arcilloso; estructura subpoliédrica; grumosa; algo compacto poco permeable; nodoradamente calizo; penetrabilidad mediana; algunas concreciones; límite difuso y liso. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|--------------------|--|
| 45 - 70 | B ₂ /Ca | Gris oscuro (10 YR 4/1) en húnodo; arcilloso; estructura poliédrica subangular; compacto; muy poco permeable; concreciones calizas; límite difuso y claro. |
| 70 -- | D | Gris verdoso con vetas ocres; arcilloso; estructura poliédrica; compacto; no permeable; no calizo; no hay concreciones. |

Perfil VII. "Marchona-Ecija" (Sevilla) T.N.A. (fot.4)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|----------------|---|
| 0 - 25 | Ap | Gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húnodo, gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; arcilloso; estructura gruno granular gruesa, nodorada a fuertemente desarrollada; de friable a firme; algo poroso; poco permeable; calizo; ligeramente orgánico; escasas raicos; buena actividad biológica; escasas y pequeñas concreciones calizas; límite difuso y liso; adhesivo y plástico en húnodo. |
| 25 - 55 | Ap/A | Gris muy oscuro (10 YR 3/1); arcilloso; estructura poliédrica subangular gruesa, nodoradamente desarrollada; firme; compacto; poco permeable; calizo; ligeramente orgánico; escasas raicos; actividad biológica media; algunas concreciones calizas; adhesivo y plástico; límite difuso y liso. |
| 55 - 70 | B ₁ | Gris muy oscuro (10 YR 3/1); arcilloso; estructura poliédrica prismática gruesa y media de nodorada a fuertemente desarrollada; firme; compacto; muy poco permeable; calizo; escasas raicos; actividad biológica media; ligeramente orgánico; concreciones calizas; adhesivo y plástico; algunas gravas de tamaño medio; límite difuso y liso. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|------------------|---|
| 70 -125 | E ₂ | Iguals características que el ho rizonto anterior, con estructura prismática gruesa fuertemente desa rrollada. |
| 125-160 | B/C ₁ | Gris oscuro (10 YR 4/1), y pardo (10 YR 5/3); arcilloso; estructura poliedrica subangular gruesa fuer tamente desarrollada; firme; con pacto; muy poco permeable; calizo; concreciones calizas blandas; adhe sivo y plástico; límite difuso y liso. |
| 150-180 | B/C ₂ | Pardo (10 YR 5/3), pardo gris (10 YR 5/2) y gris oscuro (10 YR 4/1); arcilloso; estructura poliédrica subangular media, moderadamente de sarrollada; de firme a friable; compacto; muy poco permeable; ca lizo; concreciones calizas blandas; adhesivo y plástico. |

2.2.5 - Asociación de Tierra parda meridional y Ranker sobre pizarras, esquistos, cuarcitas, etc.

Suelos de perfil A(B)C y AC, generalmente poco profundos a causa de la topografía accidentada del terreno, de color pardo o pardo oscuro, textura media y estructura grumosa en superficie; el horizonte (B) es de color pardo claro o pardo rojizo, de textura a veces algo más arcillosa y estructura poliédrica. El horizonte C aparece casi siempre a no más de 40 cms de profundidad. El pH es ligeramente ácido, el contenido en materia orgánica bajo o moderado y la saturación en calcio baja; relación C/N superior a 15 y capacidad de cambio de bases entre 10 y 15 meq/100 grs. La tierra parda meridional representa el suelo climax de Sierra Morena y se encuentra asociado con rankers y litosuelos.

2.2.5.1 - Descripción de los perfiles VIII y IX.

Perfil VIII. "Almadón de la Plata"(Sevilla) T.P.M.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Horzto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|----------------|---|
| 0 - 12 | A ₁ | Amarillo rojizo (5 YR 6/4) en seco lino arenoso; estructura grumosa media; buena permeabilidad; no calizo; contenido medio en materia orgánica; buen enraizamiento; buena actividad biológica (lombrices) límite gradual e irregular. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------------|---|
| 12 - 40 | (B) ₁ /C | Rojo (2.5 YR 4/6) en seco; arcilloso; estructura poliédrica; algo compacto; permeabilidad media; no calizo; ligeramento orgánico; algunas raíces; hay trozos de pizarra coluviales y acumulación local de arcilla en los rellenos de las piedrecillas; la piedra existente está poco descompuesta; límite difuso e irregular. |
| 40 - 60 | (B) ₂ /C | Amarillo rojizo (7.5 YR 6/8) en seco; arcilloso; estructura granular poliédrica media; permeabilidad media; no calizo; algunas raíces; trozos de pizarra descompuesta con liberización de arcilla. |
| 60 ---- | C | Pizarra con vetas de cuarcita. |

Perfil IX. "Burguillos" (Sevilla) T.P.M.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|--------------------|--|
| 0 - 13 | A | Pardo fuerte (7.5 YR 5/6) en seco; lino arenoso; estructura granular terrosa; firme a compacto; buena porosidad; permeable; no calizo; materia orgánica media; buena actividad biológica; límite gradual e irregular |
| 13 - 52 | (B)/C ₁ | Amarillo rojizo (7.5 YR 6/6) en seco; lino arenoso; estructura poliédrica desarrollada; permeable; no calizo; límite claro y liso; fuerte erosión. |
| 52 - 75 | C ₁ | Roca ligeramento alterada; lino arenoso. |
| 75 ---- | C | Roca originaria, consistente en un contacto pizarra-granito. |

2.2.6 - Asociación de Tierra parda meridional, Ranker y Litosuelo sobre granitos, sionitas, dioritas, etc.

Suelos generalmente más profundos que los anteriores, de color más claro y que muestran un potente horizonte (B)/C con progresivo grado de alteración.

Se encuentran muy extendidos en el centro y norte de Sierra Morena, ocupando áreas poco accidentadas e incluso bastante llanas. El ranker sobre granitos y otras rocas ácidas es menos común. La extensión más importante de estos suelos se encuentra en la provincia de Córdoba, desde Hinojosa del Duque hasta cerca de Bailón, en Jaén.

Los suelos de esta asociación y de la anterior se clasifican en el Grupo de suelos pardos, Clase VI (Suelos con Mull) de la clasificación francesa. Corresponden en la clasificación de Kubiena al Tipo Braunorde, subtipo Tierra parda meridional; en la americana, Xerochrepts.

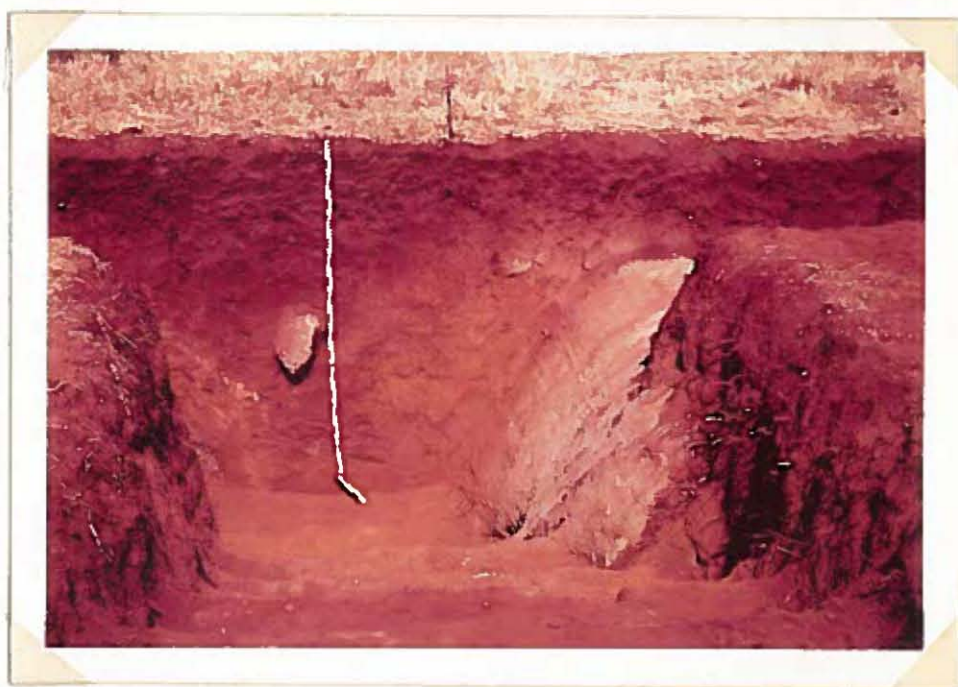
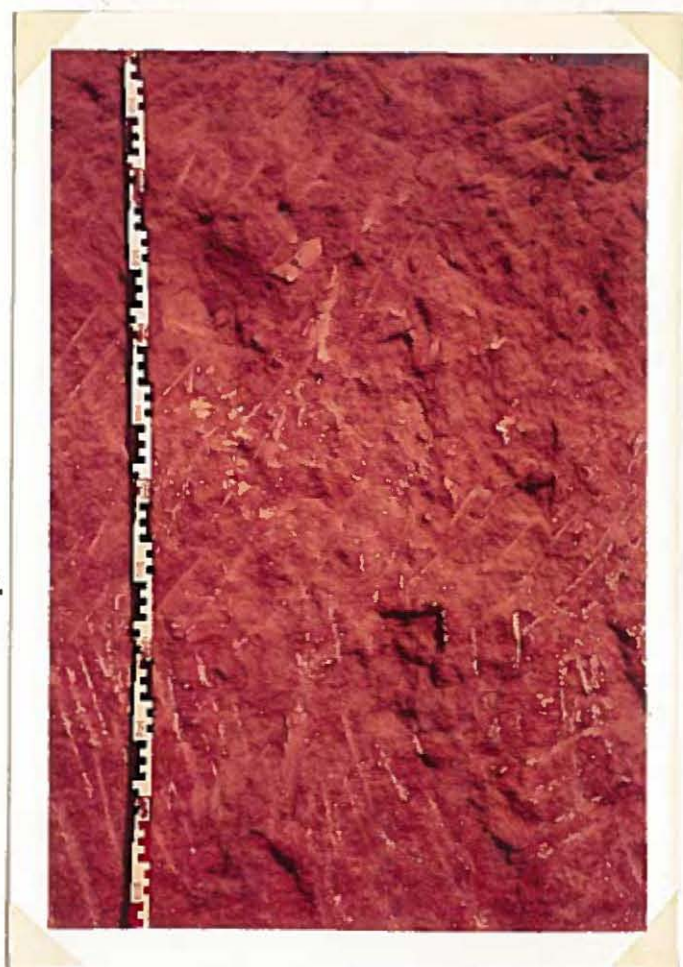
Son suelos jóvenes y el hierro no presenta en general grandes problemas. Micromorfológicamente la característica más acusada es que el horizonte A presenta microestructura de esponja mientras que el horizonte (B)/C contiene junto a estructuras típicas de tierra parda otras de Braunlehm, con hidróxido de hierro peptizado (Kubiena, 1953).

2.2.6.1 - Descripción del perfil X.

Perfil X. "Castillo de las Guardas" (Sevilla) T.P.M. (f.5)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------------|---|
| 0 - 15 | A ₁ | Pardo oscuro (10 YR 3/3); lino arcenoso; estructura grunosa nodia y gruesa, nodrada; friable; muy poroso; permeable; no calizo; ligera nento orgánico; escasas raicos; buena actividad biológica; límite gradual e irregular; algunos trozos de carbón. |
| 15 - 35 | (B) | Pardo (7.5 YR 4/4); lino arcillo arenoso; estructura poliédrica nodia, nodradamente desarrollada; de friable a firme; poroso; permeable; no calizo; actividad biológica media; límite difuso e irregular; algunas penetraciones del horizonte anterior. |
| 35 - 50 | (B) ₁ /C | Pardo (7.5 YR 5/4); lino arcillo arenoso; estructura poliédrica nodia, nodradamente desarrollada; firme; poroso; permeable; no calizo; límite difuso e irregular. |
| 50 - 65 | (B) ₂ /C | Iguales características que el anterior; lino arenoso; más fino. |
| 65 - 95 | (B) ₃ /C | Rojo amarillento (5 YR 4/6); lino arenoso; estructura granular nodia, nodradamente desarrollada; firme; poco poroso; permeable; no calizo; límite gradual e irregular. |
| 95 --- | C ₁ | Roca granítica alterada. |

Fot. 5.- Perfil X.
Tierra parda meridional (T.P.M.)
"Castillo de las Guardas" (Sevilla)



Fot. 6.- Perfil XI. Tierra parda ferrítica (T.P.F.)
"Los Marines" (Aracena, Huelva)

2.2.7 - Asociación de Tierra parda ferrítica sobre calizas cambrianas.

Es un suelo de color rojizo muy oscuro, de perfil A(B)C, generalmente profundo, linoso, suelto, grumoso y moderadamente orgánico en el horizonte A. El horizonte (B) es de color pardo rojizo, de igual textura que el anterior y estructura subpoliédrica; a profundidades variables, incluso aflorando a la superficie, se encuentra la roca madre, constituida por grandes bloques de caliza gris, muy dura, del Cámbrico. El suelo está fuertemente enriquecido en hidróxidos y óxidos de hierro y manganeso; tiene reacción prácticamente neutra y escaso contenido en sílice. La capacidad de cambio de bases es de 20 meq/100 grs en el horizonte orgánico, pero descendiendo a valores comprendidos entre 5 y 8 en el resto del perfil. La saturación aumenta en profundidad hasta llegar cerca de 100. No existe prácticamente carbonato cálcico libre.

Este suelo, que ocupa áreas no muy extensas, se encuentra más representado en la parte occidental de Sierra Morona, concretamente en el Norte de la provincia de Huelva, en zonas cuya altitud oscila entre 600 y 800 mts, con clima húmedo.

La clasificación francesa no recoge bien este suelo; podría considerarse como un suelo ferralítico, perteneciente a la Clase VIII, - Suelos con sesquióxidos y materia orgánica rápidamente mineralizada - Kubiena,

sin embargo, describe perfectamente una Braunerde ferrítica o Tierra parda ferrítica, como variedad. En la americana podría pertenecer al Suborden Eutrichochrepts..

En este suelo el hierro es el componente principal, encontrándosele cristalizado en todo el perfil; su origen hay que relacionarlo con el contenido en la roca madre, donde se encuentra como mona metálica (Kubiona, 1953; Storrer y Muir, 1962).

2.2.7.1 - Descripción del perfil XI

Perfil XI. "Los Marines" (Araona, Huerva) T.P.F. (fot.6)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Horizte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-------------------|---|
| 0 - 30 | $A_0 + A_1$ K_1 | Rojo muy oscuro (10 R 2/2), o pardo rojizo oscuro (2.5 YR 2/4); línoso franco; estructura grumosa media de nodrada a fuertemente desarrollada; friable; muy poroso; permeable; no calizo; nodradamente orgánico; raices medias; buena actividad biológica; algunas piedras; límite difuso y liso. |
| 30 - 60 | A_B | Iguales características que el anterior horizonte; menos orgánico; más raices. |
| 60 - 90 | $A/(B)$ B_2 | Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 2/4); arcillo línoso; estructura grumosa poliédrica subangular media, nodradamente desarrollada; friable; muy poroso; permeable; no calizo; raices de diverso tamaño; buena actividad biológica; límite difuso y liso. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------|---|
| 90 -120 | XB ₁ | Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3); limo arcilloso; estructura poliédrica subangular grunosa media, moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; no calizo; raicos de diverso tamaño; buena actividad biológica; presencia de escorias; límite difuso y liso. |
| 120-150 | XB ₁ | Iguals características quo el anterior. |
| 150--- | C | Bloques de calizas cánbricas |

2.2.8 - Asociación de Suelos rojos y Tierras pardas sobre pizarras, esquistos, cuarcitas y calizas cámbricas.

Suelos de perfil A(B)C. El horizonte A es de color pardo, en ocasiones pardo oscuro y muchas veces falta por la erosión; tiene textura media y estructura grumosa bien desarrollada. El horizonte (B) es de color rojo intenso, limo arcilloso, poliédrico y compacto. Al horizonte C, de pizarra y esquisto o cuarcita se pasa por uno de transición, de color rojizo grisáceo (horizonte (B)/C), con abundantes inclusiones de material original muy alterado.

Son suelos relictos que en otra época debieron ocupar mayor extensión; cuando la erosión no es muy intensa, y las condiciones de humedad y vegetación son favorables, se puede apreciar el desarrollo de Tierra parda ácida sobre estos suelos e incluso la presencia de un horizonte más o menos desarrollado de eluviación. Se encuentran muy repartidos en Sierra Morena, especialmente entre las provincias de Córdoba y Sevilla.

La clasificación francesa no trata de manera clara de estos suelos sobre rocas silíceas ácidas; podrían considerarse como suelos rojos tropicales pertenecientes a la Clase VIII de Suelos con Sesquióxidos, relictos. En las claves de Kubiona corresponden a los Rotlehn relictos, y en la americana de 1964 a Vétustalf y en la de 1967 a Paléxeralf.

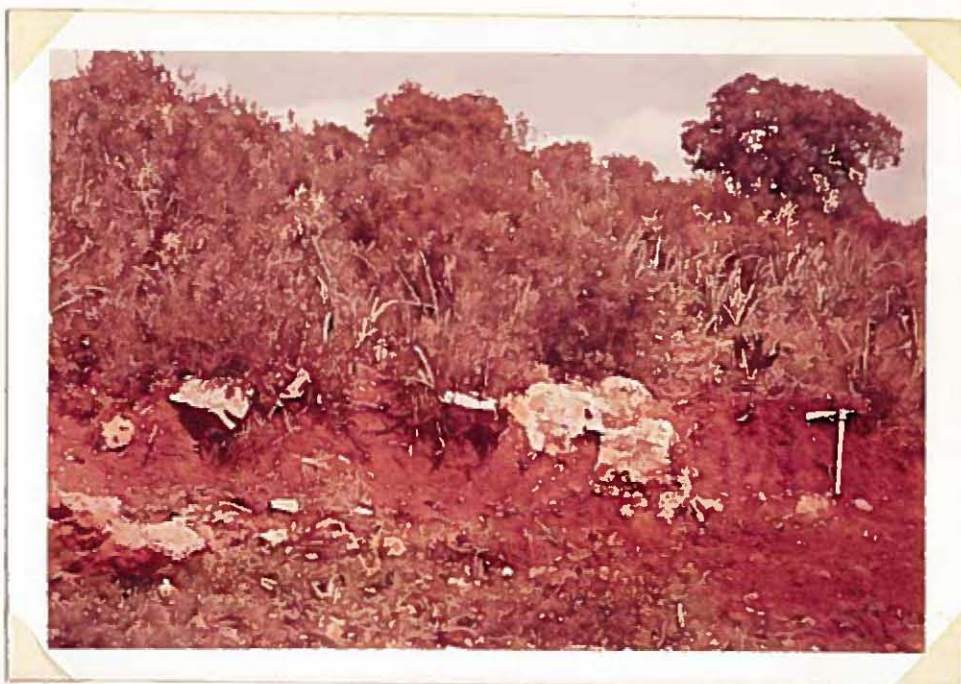
En la clasificación francesa los suelos rojos

sobre calizas cámbricas pertenecen a la misma Clase que los anteriores, pero en la subclase de los Suelos pardos y rojos mediterráneos; en la de Kubiena se consideran en las Terrae calxii, subtipo Terra rossa; y en la americana de 1964 Argixeroll y Palloxeroll. Estos suelos han sufrido procesos de rubefacción, los primeros, y de descalcificación, rubefacción y lavado, los segundos.

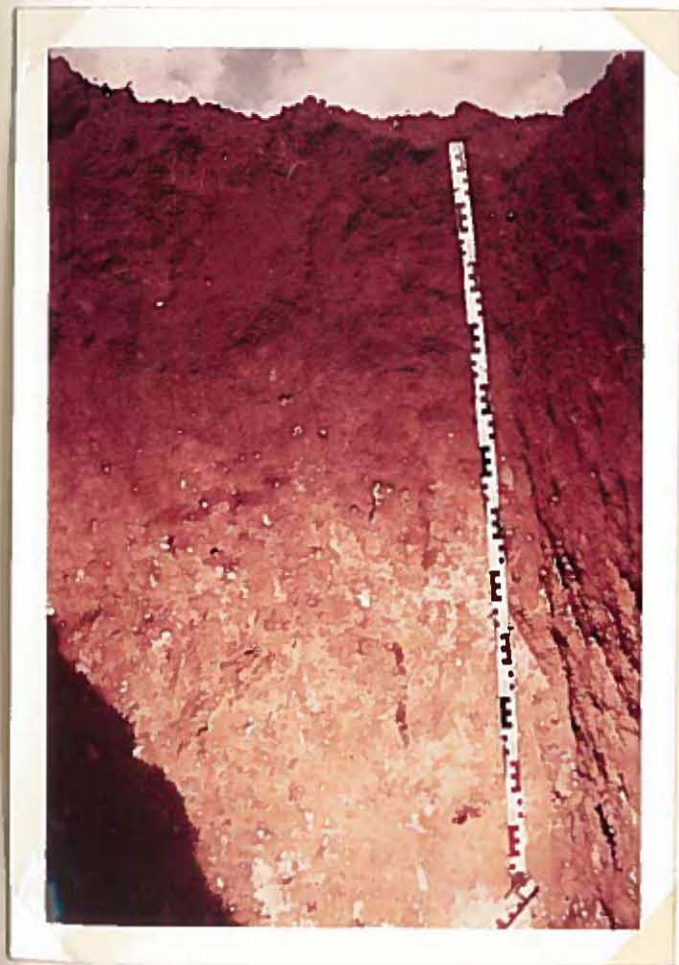
2.2.8.1 - Descripción del perfil XII (fot.7)

Perfil XII. "Cantera"(Almadón de la Plata, Sevilla) S.R.T.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|------------------|---|
| 0 - 30 | A ₁₋₁ | Pardo rojizo (5 YR 4/4) en seco; linoso; estructura grumosa media; poroso; permeable; débilmente calizo; moderadamente orgánico; buena actividad biológica; límite claro o irregular. |
| 30 - 60 | A ₁₋₂ | Rojo amarillento (5 YR 4/6) en seco; igual al anterior, algo más húmedo y con inclusiones del horizonte anterior. |
| 60 -100 | C ₁ | Pardo rojizo claro (2.5 YR 6/4) en seco; lino arenoso; estructura ni gajosa; suelto a firme; porosa fina; permeable; muy calizo; buena actividad biológica; límite claro o irregular. |
| 100--- | C | Dos tipos de caliza cristalina; una ligeramente amarillenta y otra algo más oscura. |



Fot. 7.- Perfil XII, Suelo rojo terrificado (S.R.T.)
"Cantera" (Almaden de la Plata, Sevilla)



Fot. 8.- Perfil XIII.
Suelo pardo rojizo de
terrazza (S.P.R.t.)
"Alcorrín" (Ecija,
Sevilla).

2.2.9 - Asociación de Suelos rojos y Suelos pardos mediterráneos sobre areniscas calizas y sobre sedimentos cuaternarios antiguos.

Son suelos de color rojo más o menos intenso, de perfil A(B)CaC desarrollado sobre calizas, por lo general areniscas del Mioceno o Plioceno; se encuentran también sobre sedimentos calizos y pedregosos del Cuaternario antiguo. El horizonte A, cuando no está alterado por las labores, es poco profundo, de color pardo o pardo rojizo, moderadamente orgánico, de textura que depende del material original y estructura generalmente grumosa fina. En algunos casos se puede observar la presencia de horizonte A_2 más o menos desarrollado. Sigue, generalmente, un horizonte B textural, de color rojo intenso, de textura media o pesada y estructura prismática bien desarrollada. Se encuentra a continuación otro horizonte de color rojo menos intenso, de textura más ligera y estructura menos desarrollada. De este horizonte se pasa a la roca madre a través de un Ca/C enriquecido en nódulos calizos. En condiciones de microrrelieve y drenaje adecuados, se pueden apreciar horizontes Bg ó g de pseudogley.

Son suelos de pH neutro, con el complejo adsorbente saturado en calcio y de escasa proporción en materia orgánica. Están muy repartidos en el valle Bético sobre calizas terciarias y terrazas cuaternarias.

En la clasificación francesa pertenecen a la Clase VIII, Suelos con sesquióxidos y materia orgánica rá

pidamente mineralizada. subclase primera. Suelos rojos y pardos mediterráneos. Kubiena los clasifica en la Clase Terrae calxis en varios subtipos de Terra rossa. En la americana se clasifican, en la de 1964 entre Argixeroll y Rhodustalf-Haplustalf, y en la de 1967 entre Palcoxeroll y Rhodoxeralf-Haploxeralf.

2.2.9.1 - Descripción de los perfiles XIII, XIV, XV, XVI y XVII.

Perfil XIII. "Alcorrín" (Ecija, Sevilla) S.R.R.t. (fot.8)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------|---|
| 0 - 30 | Ap | Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); arcilloso; estructura grumosa gruesa y muy gruesa, moderada a fuertemente desarrollada; friable; poroso; permeable; calizo; moderadamente orgánico; medianamente enraizado; mediana actividad biológica; algunas concreciones calizas y gravas; límite difuso y liso. |
| 30 - 60 | Ap/B | Pardo rojizo (5 YR 4/4); arcilloso; estructura poliédrica subangular gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; permeable; calizo; ligeramente orgánico; raíces pequeñas, poco densas; mediana actividad biológica; algunas concreciones calizas pequeñas y gravas; límite gradual y liso. |
| 60 - 80 | B/Ca | Rojo amarillento (5 YR 5/6); lino arcilloso; estructura poliédrica subangular mediana y gruesa, moderadamente desarrollada; firme a friable; algo poroso; permeable; muy calizo; abundantes concreciones calizas de tamaño medio; límite difuso y liso. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------|---|
| 80 -140 | C/Ca | Amarillo rojizo (5 YR 6/6); limoso; estructura poliédrica subangular media y gruesa moderadamente desarrollada; friable a firme; algo poroso; muy calizo; nódulos calizos grandes, blancos y duros. |

Perfil XIV. "Antequera" (Málaga) S.P.R.t.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-------------------|---|
| 0 - 20 | Ap ₁ | Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); arcilloso; estructura grumosa gruesa y poliédrica subangular fina y media, moderadamente desarrollada; friable; algo poroso; permeable; calizo; ligeramente orgánico; abundantes raíces finas y medias; buena actividad biológica; concreciones calizas aisladas; límite difuso y liso. |
| 20 - 40 | Ap ₂ | Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); arcilloso; estructura grumosa gruesa y poliédrica subangular fina y media moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; calizo; ligeramente orgánico; abundantes raíces finas y medias; buena actividad biológica; concreciones calizas aisladas; límite claro y liso. |
| 40 - 60 | E/Ca ₁ | Pardo rojizo (5 YR 4/4); arcilloso; estructura poliédrica subangular gruesa, moderadamente desarrollada; de friable a firme; poroso; permeable; muy calizo; raíces finas abundantes; buena actividad biológica; abundantes concreciones; límite difuso y liso. |
| 60 -110 | B/Ca ₂ | Pardo rojizo (5 YR 5/4); arenoso; estructura poliédrica subangular gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; permeable; muy calizo; raíces finas abundantes; buena actividad biológica; concreciones calizas muy abundantes. |

Perfil XV. "Dehesa Juliana" (Bollullos, Sevilla) S.R.M.L.
(fot.9)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|----------------|---|
| -2 - 0 | A ₀ | Restos vegetales más o menos descompuestos y mezclados con materia mineral. |
| 0 - 5 | A ₁ | Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); lino arenoso; granos individuales y granos medios ligeramente estructurados; friable; poroso; muy permeable; no calizo; medianamente orgánico; moderado contenido en raíces de tamaño medio; límite claro y liso. |
| 5 - 12 | A ₂ | Rojo amarillento (5 YR 4/8); lino arenoso; granos individuales finos y sueltos; muy friable; poroso; muy permeable; no calizo; ligeramente orgánico; moderado contenido en raíces de tamaño medio; moderada actividad biológica; límite difuso e irregular. |
| 12 - 25 | A/B | Rojo (2.5 YR 4/6); lino arenoso; estructura grunosa y poliédrica subangular media moderadamente desarrollada; friable a firme; algo poroso; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; raíces medias y gruesas; moderada actividad biológica; límite claro y liso. |
| 25 - 55 | B ₂ | Rojo a rojo oscuro (2.5 YR 5/6); lino arcillo arenoso; estructura prismática poliédrica media, moderadamente desarrollada; firme; compacto; poco permeable; no calizo; algunos restos de raíces; ligeramente plástico y adhesivo; límite gradual e irregular. |
| 55 - 75 | B ₃ | Rojo amarillento (5 YR 4/6); lino arcillo arenoso; estructura poliédrica media y gruesa ligeramente desarrollada; firme; algo poroso; permeable; no calizo; límite claro e irregular. |

| <u>Prof.cns.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|---------------|---|
| 75 -200 | C/Ca | Anarillo pálido (2.5 Y 4/8); lino arenoso; friable; poroso; permeable; muy calizo; con nodulos y vetas calizas blancas. |

| | | |
|-------|----------------|---------------------------|
| 200-- | C ₁ | Aronisca caliza alterada. |
|-------|----------------|---------------------------|

Perfil XVI, "El Arahal" (Sevilla) S.R.M.L.

| <u>Prof.cns.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripcion</u> |
|------------------|------------------|--|
| 0 - 20 | Ap | Rojo anarillento (5 YR 4/8); lino arenoso; granos individuales y grupos medios ligeranamente estructurados; friable; poroso; permeable; no deradamente orgánico; calizo; medianamente enraizado; actividad biológica media; algunos pequeños nódulos calizos; límite difuso e irregular. |
| 20 - 40 | A/B | Rojo anarillento (5 YR 4/6); lino arenoso; estructura grunosa media; ligeranamente desarrollada y granos individuales; friable; poroso; permeable; moderamente calizo; ligeramente orgánico; poco enraizado; actividad biológica media; límite gradual y liso. |
| 40 - 95 | B ₂ | Rojo oscuro (2.5 YR 3/6); lino arcillo arenoso; estructura poliedrica subangular media gruesa de nodorada a fuertemente desarrollada; friable a firme; poroso; permeable a poco permeable; no calizo; raíces finas; actividad biológica media; algunas gravillas; límite gradual o difuso, algo irregular; pseudonicecios. |
| 95 -115 | B ₃₋₁ | Rojo anarillento (5 YR 4/8); arenoso; estructura poliedrica subangular media a gruesa, moderamente desarrollada y grunosa fina, poco desarrollada; friable; permeable; no caliza; algunas gravillas; límite difuso e irregular. |

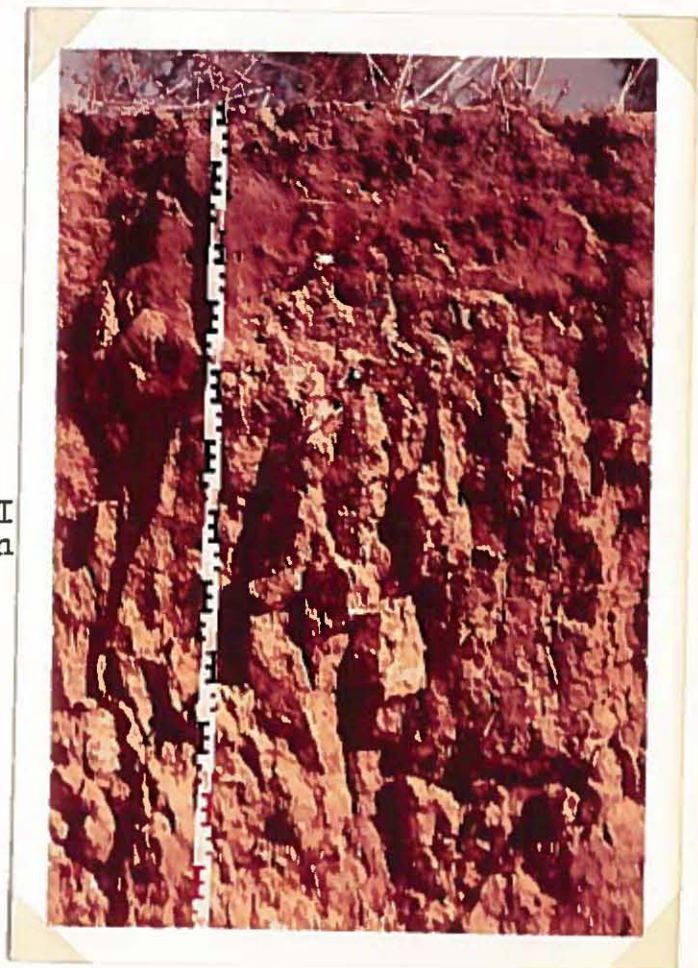
| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-------------------|---|
| 115-135 | B ₃ -2 | Pardo amarillento (10 YR 5/6); arenoso; granos individuales; friable; poroso; permeable; no calizo; algunas gravillas; límite claro, algo ondulado. |
| 135-200 | C/Ca | Amarillo claro (2.5 Y 7/4); arenoso; arenisca del Plioceno con nódulos; costras calizas; restos fosilíferos y gravillas; poroso; permeable. |

Perfil XVII, "La Rambla" (Córdoba) S.R.M.L.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|----------------|---|
| 0 - 35 | Ap | Rojo amarillento (5 YR 4/8); lino arenoso; estructura grunosa gruesa, moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; calizo; ligramente orgánico; raíces finas y gruesas; buena actividad biológica; concreciones calizas pequeñas y algunas gravas; límite gradual e irregular. |
| 35 - 85 | B ₂ | Rojo (2.5 Y 4/6); lino arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; permeable; reacción al ácido no apreciable; ligramente orgánico; algunas raíces; actividad biológica media; límite gradual y liso; algunas gravas. |
| 85-115 | B ₃ | Rojo amarillento (5 YR 5/8); areno lino; estructura poliédrica subangular y grunosa gruesa, débil a moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; no calizo; algunas raíces; buena actividad biológica; límite claro y liso. |
| 115-220 | C/Ca | Amarillo pálido (2.5 Y 7/4); con manchas pardo amarillentas (10 YR 6/6) y vetas blancas; areno lino; estructura subpoliédrica media a débilmente desarrollada; friable; poroso; permeable; muy calizo; alguna actividad biológica; concreciones calizas. |



Fot. 9.- Perfil XV. Suelo rojo mediterráneo lavado
(S.R.M.L.) "Dehesa Juliana" (Bollullos, Sevilla)



Fot. 10.- Perfil XVIII
Suelo pardo lavado con
pseudogley (S.P.L.g.)
"Mogollón" (La Rin-
conada, Sevilla)

2.2.10 - Asociación de Suelos pardos y Suelos pardos lavados hidromorfos (planosuelos), sobre terrazas cuaternarias.

Sobre terrazas cuaternarias antiguas del río Guadalquivir se han desarrollado una serie de suelos con procesos de lavado o hidromorfismo más o menos acentuados. El perfil es de tipo ABCaC ó ABgCaD. El horizonte A (casi siempre Ap), de unos 20 cms de espesor, es de color pardo a pardo amarillento oscuro y pardo claro en seco, de textura arenosa y estructura particular suelta; contiene gravilla y algunos nódulos ferruginosos. El horizonte B ó Bg es de textura arcillo arenosa, estructura poliédrica-prismática fuertemente desarrollada, compacto y muy firme; puede tener gravillas y nódulos o manchas ferruginosas; carece de carbonato cálcico libre, es plástico en estado húmedo y de poca permeabilidad. Este horizonte puede alcanzar más de un metro de profundidad. A continuación aparece una zona de enriquecimiento en carbonato cálcico (horizontes B/Ca ó Ca/D) debajo del cual suelen aparecer mantos de grava, margas, areniscas o sedimentos rojos de una terraza más antigua.

Existen variedades pedregosas de estos suelos y otras con hidromorfismo más acentuado. Además de presentarse en las terrazas del Guadalquivir y sus afluentes, existen en otras áreas de la zona estudiada: en la provincia de Cádiz, próximas a los ríos Guadalote y Barbato; en la de Huelva; y en áreas aisladas de Sierra Morona,

al N. de la provincia de Córdoba.

En la clasificación francesa estos suelos se incluyen en la Clase VI, Suelos de Mull, grupos de los suelos lavados y suelos pardos, subgrupo suelos lavados hidromorfos y suelos pardos lavados. En la de Kubiena corresponden a algunos Pseudogley. En la americana de 1964 corresponden a Normustalf y en la de 1967 a Haploxeralf.

En estos suelos la movilización del hierro está gobernada principalmente por los procesos de óxido-reducción mediante los cuales se originan algunas separaciones locales de hierro en manchas y vetas e incluso concreciones y nódulos ferruginosos (Duchaufour, 1965; Mückenhauseon, 1963; Kubiena, 1953).

2.2.10.1 - Descripción de los perfiles XVIII, XIX y XX
Perfil XVIII, "Mogollón" (La Rinconada, Sevilla) S.P.L.g.
 (fot. 10)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------|--|
| 0 - 20 | Ap | Pardo amarillento (10 YR 4/4); arenoso lino; granos individuales; muy friable a suelto; poroso; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; escasas raíces de tamaño medio; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas redondeadas de 2 a 10 mm Ø; límite claro y liso. |
| 20 - 45 | Bg ₁ | Pardo fuerte (7.5 YR 5/6); limo arcilloso arenoso; estructura poliédrica subangular fina a media, ligera a moderadamente desarrollada; friable; poroso; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; escasas raíces nodiosas y gruesas; nodiosa actividad biológica; concreciones ferruginosas abundantes; ligeramente plástico y adhesivo; límite difuso y liso. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|--------------------|--|
| 45 - 70 | Bg ₂ -1 | Pardo fuerte (7.5 YR 5/6); limo arcillo arenoso; estructura poliédrica media a gruesa, moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; poco permeable; no calizo; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas más abundantes; límite gradual y liso; ligeramente plástico y adhesivo. |
| 70-120 | Bg ₂ -2 | Abigarrado: pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), pardo amarillento (10 YR 5/6), pardo oscuro (7.5 YR 5/6) y rojo amarillento (5 YR 4/6); arcillo arenoso; estructura prismática columnar gruesa, fuertemente desarrollada; duro a extremadamente duro; compacto; muy poco permeable; no calizo; escasas raíces finas y medias; moderado contenido en concreciones ferruginosas; límite claro e irregular; revestimientos arcillosos. |
| 120-145 | Bca B/Ca | Igual color que el anterior con vetas blanco amarillentas; linoso; estructura poliédrica subangular media a gruesa, moderadamente desarrollada; friable a firme; algo poroso; poco permeable; calizo; algunas raíces; concreciones calizas de 0.5 a 2 cms de Ø; límite claro. |
| 145-200 | D | Pardo rojizo (5 YR 4/3); linoso; estructura poliédrica subangular; firme a compacto; poco permeable; calizo; concreciones ferruginosas pequeñas y nódulos calizos. |

Perfil XIX, "Aeropuerto" (Rincónada, Sevilla) S.P.L.g.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------|---|
| 0 - 17 | Ap ₁ | Pardo claro (10 YR 6/3); limo arenoso; granos individuales; muy friable; poroso; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; escasas raíces; escasa actividad biológica; aisladas concreciones ferruginosas redondeadas; límite claro y liso. |

| <u>Prof.Cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripcion</u> |
|------------------|------------------|--|
| 17 - 25 | Ap ₂ | Iguales características que el ho rizante anterior. |
| 25 - 35 | B ₁₋₁ | Pardo amarillento; limo arenoso; granos individuales; friable; algo poroso; permeable; no calizo; buena actividad biológica; sin concreciones; límite difuso y li so. |
| 35 - 50 | B ₁₋₂ | Igual color; limo arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular media nodrada a debilmente desa- rrollada; algo firme; algo poroso; permeable; no calizo; actividad biológica media; sin concreciones; límite claro y liso. |
| 50 -100 | B _{2g} | Pardo amarillento; con algunas man chas rojizas, grises y negras; li- mo arcillo arenoso; estructura po- liédrica media a gruesa, nodrada- mente desarrollada; firme; compac to; poco permeable; no calizo; con creciones ferruginosas; límite gra dual y liso. |
| 100--- | Bg/Ca | Pardo amarillento; limo arcillo arenoso; estructura poliédrica me dia, noderamente desarrollada; firme compacto; algo permeable; ligeramente calizo; concreciones ferruginosas y calizas pequeñas aisladas. |

Perfil XX, "Almensilla" (Sevilla) S.P.L.g.

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Descripción</u> |
|------------------|-----------------|---|
| 340 0 - 25 | Ap ₁ | Pardo muy claro (10 YR 8/3), pardo claro (10 YR 6/3); arono linceo; granos individuales; muy friable; poroso; permeable; no calizo; li- geramente orgánico; escasas raíces; escasa actividad biológica; límite difuso y liso. |

| | <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Descripción</u> |
|-----|------------------|------------------|--|
| 341 | 25 - 40 | Ap ₂ | Igual color, con algunas manchas pardas (7.5 YR 6/4); arenoso linoso; granos individuales; friable; poroso; permeable; no calizo; escasas raíces; actividad biológica muy escasa; límite gradual y liso. |
| 342 | 40 - 52 | g ₁ | Pardo (7.5 YR 6/4); arenoso linoso; granos individuales; friable; poroso; permeable; no calizo; límite claro y liso. |
| 343 | 52 - 71 | g ₂₋₁ | Abigarrado: gris y gris rojizo; limo arcillo arenoso; estructura poliédrica prismática, media a gruesa moderadamente desarrollada; firme; algo poroso; poco permeable; no calizo; límite gradual y liso. |
| 344 | 71-- | g ₂₋₂ | Abigarrado: predominio de manchas grises; limo arcillo arenoso; estructura poliédrica prismática, gruesa moderada a fuertemente desarrollada; firme; compacto; poco permeable; no calizo. |

2.3 - Métodos experimentales

2.3.1 - Preparación de las muestras para análisis químico del suelo.

Se han utilizado muestras naturales pasadas por tamiz de 2 mm.

2.3.2 - Preparación de las muestras para análisis mecánico y determinaciones de hierro en las distintas fracciones.

Estos análisis se efectuaron en muestras tamizadas, sin materia orgánica ni carbonatos.

Eliminación de materia orgánica:

Ciento cincuenta o doscientos granos de cada muestra se tratan en vasos altos de un litro con agua oxigenada al 6%. El ataque se efectúa en baño maría, llevándose a cabo tantos tratamientos como sean necesarios para conseguir una ebullición tranquila, hasta que el líquido que sobrenada quede claro.

Eliminación de carbonatos:

Eliminada la materia orgánica con agua oxigenada se trataron las muestras con ácido acético 0.5 N, agitando bien, hasta que una nueva adición no produce desprendimiento de anhídrido carbónico. Después se lavan y se secan.

2.3.3 - Preparación de las muestras para análisis por rayos X y térmico diferencial.

Por sedimentación se extrae de los suelos, una vez exentos de carbonatos y materia orgánica, la fracción menor de 2 μ .

Enriquecimientos en óxidos de hierro:

Un grano de fracción arcilla, de cada una de las muestras, exenta de materia orgánica y carbonatos, se trata a reflujo durante media hora con Na (OH) 5 N (Norrish y Taylor, 1961).

2.3.4 - Determinaciones generales:

Análisis químico - Se ha seguido el método de Jacob (1944) con ligeras modificaciones. Sodio y potasio se determinaron por fotometría de llama, previa eliminación de la sílice por fluorhídrico y precipitación en la solución clorhídrica del hierro, aluminio y titanio como hidróxidos, y en la solución amoniacal del calcio como oxalato.

Para la determinación del manganeso se ha partido de un grano de suelo; se trata con la mezcla ácido nítrico-ácido fluorhídrico, que elimina materia orgánica y sílice; en la solución resultante de digerir con agua los residuos del tratamiento indicado, se oxida el manganeso a permanganato según la técnica descrita por Sandell (1950) para el método del persulfato. Finalmente, se realiza una colorimetría.

Determinación de materia orgánica y carbono orgánico. - Método de Walkley y Black (1934), consistente en la adición de dicromato y sulfúrico y valoración del exceso de dicromato con sulfato ferroso.

El carbono orgánico se obtiene multiplicando por un factor constante la diferencia de los volúmenes

gastados de sulfato ferroso, en la muestra y en un ensayo en blanco que se efectúa paralelamente.

Nitrógeno - Se siguió el método Kjeldahl modificado (Jackson, 1958). La muestra se trata con sulfúrico y sulfato potásico y cúprico, valorándose el destilado con ácido sulfúrico N/14, usando como indicador verde de Bronocresol.

Acidez - Se determinó con un pH-metro en pasta de suelo saturada en agua, repitiéndose con pasta de suelo saturada en cloruro potásico (Hernando y Sánchez Conde, 1954) .

Carbonatos - Con el calcímetro Bernard (Hidalgo y Candola, 1958).

Capacidad de cambio e iones cambiablos - (Schollenberger y Sinón, 1945). Veinte gramos de suelo colocados en un tubo de percolación por donde se hacen pasar 500 cc de solución de acetato amónico N y neutra.

Al lixiviado se añaden los lavados alcohólicos de los 20 gramos de suelo.

El NH_4 se destila directamente de un matraz Kjeldahl, donde se ha introducido un alícuoto del lixiviado. Se recoge sobre ácido valorado cuyo exceso se valora con NaOH 0.1 N empleando rojo de metilo o verde de bronocresol como indicador.

Para los cationes cambiablos el lixiviado se evapora a sequedad, residuo que se trata con agua regia, consiguiéndose la eliminación del amonio. El residuo se

extrao con agua caliente, ligeramente clorhídrica; en alí cuotas de esta solución se determina Ca y Mg por comple-xometría, y Na y K, por fotometría de llama, expresándose los resultados en m.o.q./100 grs.

Para los suelos calizos se utilizó el método de Tucker (1954), en el que se usa como solución extractante cloruro amónico N en alcohol al 60 % en vez de acetato amónico N; el aparato y la determinación de los cationes cambiablos son como el del método del acetato amónico N.

Análisis mecánico - Se ha efectuado en muestras de suelos tanizadas y sin materia orgánica y carbonatos, por extracción de las fracciones arcilla y limo por sedimentación y sifonado; las arenas se separan con un tamiz de 0.2 mm.

2.3.5 - Determinaciones químicas del hierro

Hierro total - En el suelo tanizado por 2 mm se determinó al efectuar el análisis químico total. En las fracciones del análisis mecánico, por colorimetría con orto-fenantrolina cuando hay poco hierro, y permanganimetría cuando es mayor el contenido. Una u otra determinación se efectuó en la solución obtenida por digestión con agua acidulada del residuo del ataque con ácido sulfúrico-ácido fluorhídrico de las fracciones mecánicas.

Hierro libre - Ataque con ditionito sódico de un grano de muestra, durante media hora a 40°C en baño maría en medio complejojante de tartrato sódico, y posterior colorimetría con orto-fenantrolina (Deb, 1950; Robichet, 1957).

2.3.6 - Determinaciones físico-químicas y físicas

Análisis térmico diferencial de arcillas (A.T.D.)

Este método que permite estudiar los fenómenos endo y exotérmicos que ocurren en la muestra problema al calentarla en un horno junto a una muestra inerte, tiene un gran interés en la caracterización de los óxidos de hierro. La f.o.n. producida en dos termopares colocados en oposición, - uno en la muestra problema y otro en la inerte - , se registra frente a la temperatura del horno. Las curvas obtenidas presentan una serie de efectos térmicos de cuya intensidad, temperatura a que aparecen, y otras propiedades, se obtienen datos de gran valor en el estudio de los óxidos de hierro de los suelos.

La goethita, óxido de hierro más común en los suelos, presenta un diagrama de A.T.D. con un solo pico endotérmico entre 300 y 400°C debido a su recristalización a hematites. La lepidocrocita además del endotérmico indicado, entre 300 y 350°C, completa su diagrama con un exotérmico, no muy acentuado, entre 370 y 500°C, que se debe al paso a hematite. Un diagrama similar a la lepidocrocita, pero sin el endotérmico a 300°C, presenta la maghemita, óxido no muy abundante en la naturaleza y aún menos en los suelos. Finalmente la hematite no presenta efecto térmico alguno entre 0 y 1000°C (Mackenzie, 1957; Segalen, 1964).

Estos datos corresponden a muestras puras, existiendo variaciones en las temperaturas y áreas de los

distintos picos en función del tamaño de grano, presencia de impurezas, etc (Mackenzie, 1957). Los diagramas se han obtenido con un aparato Aminco 4-4442 SP, con una velocidad de calentamiento de 16°C/minuto.

Diagramas de difracción de rayos X:

Los óxidos e hidróxidos cristalinos de hierro pueden ser estudiados mediante métodos de difracción de rayos X. El tamaño coloidal de los microcristales exige usar el método de diagramas de polvo o de Debye-Scherrer, en el que se supone que todos los planos están representados y siempre existe el ángulo necesario para que se cumpla la ley de Bragg.

Ha de hacerse notar que la presencia de impurezas puede determinar ligeras variaciones de la estructura cristalina, circunstancia que se observa, por ejemplo, en la goethita con aluminio (Norris, Taylor, 1961), la cual presenta modificación en el diagrama de rayos X.

Las muestras de arcillas han sido enriquecidas en óxidos e hidróxidos de hierro por el método de Norris y Taylor (1961) e Iwasa (1963); el tratamiento con sosa, aparte de eliminar el aluminio y otras impurezas, determina una mejor cristalinidad de los compuestos ferruginosos.

Para la interpretación de los resultados experimentales se han empleado las tablas contenidas en la obra de Brown (1961). Los diagramas se han realizado con un a-

parato de difracción de rayos X Philips PW 1010, utilizan do cámaras de 114.83 mm y 57.40 mm de diámetro.

Estudio micromorfológico de los suelos:

Consiste en el examen microscópico de una lámina delgada de suelo, previamente endurecida con una resina o sustancia apropiada.

La técnica que se ha seguido en la preparación de láminas delgadas del suelo es la siguiente: en cajas metálicas especiales se tomaron distintas muestras en el perfil. Una vez secas al aire, se cortan en trozos convenientes y se les adiciona resina de poliéster. Se empleó Cronolita 1.108 y el disolvente especial M; como catalizador se usó peróxido de metil-butil-cetona (Butanox) y como activador naftenato de cobalto.

Una vez endurecida la muestra de suelo, se corta con una sierra de diamante y se pulc. La cara pulida se pega con resina poliéster en un porta-objetos, y se hace otro corte paralelo al anterior. Se pulc la nueva cara hasta alcanzar un espesor de 0.02 a 0.03 mm, adecuado ya para estudiar el suelo al microscopio con luz transmitida e incidente. La preparación se acaba adosándole un cubre-objetos y rotulándola.

El estudio de las láminas delgadas se efectuó en un microscopio Standart-Pol de la casa Zeiss, siguiendo las normas de Kubiona en las "Claves sistemáticas de suelos", y de Brewer en la "Fabric and mineral analysis (1953 y 1964).

3 - RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

3.1 - Caracterización química de los suelos

Como se ha indicado anteriormente se estudian en este trabajo veinte perfiles de suelos correspondientes a diversos grupos, estando representadas las formaciones edáficas más frecuentes de Andalucía Occidental.

La tabla I contiene los datos químicos generales, la II capacidad de cambio de bases, bases cambiables y saturación en bases de los suelos estudiados.

En cuanto a materia orgánica se refiere, los suelos son, por lo general, de contenidos bajos; cuatro perfiles (VIII, XI, XII y XV) poseen más de 3%, uno (XIII) de 2 a 3%, y el resto, quince perfiles, menos de 2%.

Los perfiles con mayor contenido en materia orgánica corresponden a suelos bajo vegetación natural; los restantes perfiles, excepto los de ranker aronoso (I y II), corresponden a suelos agrícolas.

La dedicación fundamentalmente agrícola de los suelos y la naturaleza de la materia orgánica se refleja en las relaciones C/N, que son en general bajas, próximas a 10; sólo en los perfiles VIII, XII y XV están comprendidas entre 15 y 17.

A juzgar por estos datos y por los de pH y saturación en bases, que serán comentados más adelante, el tipo de humus que predomina debe ser mull, sobre todo mull cálcico y mull forestal eutrofo.

La reacción de los suelos es en general neutra, ligeramente ácida o alcalina. En efecto, aunque el pH en agua en los horizontes del conjunto de perfiles varía entre 5.0 y 8.0 y en cloruro potásico entre 4.0 y 7.8, en la mayoría de los suelos es del orden de 7 en agua y algo inferior en CLK

En los suelos calizos el pH está comprendido entre 7 y 8; en los arenosos silíceos y tierras pardas sobre granitos, dioritas, pizarras, etc., el pH es de 6 a 7.

Si bien puede concluirse que los suelos estudiados muestran en general pequeñas variaciones en el pH, las diferencias existentes pueden desempeñar por sí mismo, o junto con otras características y circunstancias particulares, un importante papel en los problemas de ciclo y evolución del hierro.

En los perfiles estudiados los contenidos en carbonatos son una característica interesante en relación con el pH y con la dinámica del hierro. Exceptuando los perfiles I, II, VII, IX y X, los restantes se en encuentran sobre materiales calizos. En estos últimos sue los existen acusadas diferencias en la distribución de carbonatos en el perfil, diferencias recogidas en las descripciones morfológicas y que se reflejan lógicamente en las determinaciones analíticas.

Los perfiles III, IV y VII son de suelos sobre materiales calizos con contenidos en carbonatos prácti-

canento uniformes con la profundidad, mientras que los perfiles V, XI, XII, XIV, XV y XVII muestran un lavado importante de carbonatos.

Finalmente, en cuanto al cambio de bases se refiere (tabla II) los distintos grupos de suelos presentan capacidades variables de acuerdo con la distinta proporción y naturaleza de la arcilla y de la materia orgánica, así como del contenido en carbonatos. Por ejemplo, en los rankers arenosos (perfiles I y II) la capacidad de cambio de bases es baja, menor de 10 m.e.q./100 gr; igualmente baja es en los horizontes superiores de suelos con acumulación de arcilla en profundidad (perfiles XVIII, XIX y XX). Por el contrario, en los suelos de textura pesada (perfiles V, VI y VII), por lo general con arcillas de illita-montmorillonita, la capacidad de cambio de bases es alta, del orden de 30 a 65 m.e.q./100 gr. Asimismo, perfiles u horizontes muy calizos, presentan capacidades de cambio de bases medias y bajas.

Es interesante comentar que en el conjunto de suelos estudiados la saturation en bases es muy alta, prácticamente total en la gran mayoría de los perfiles, aún en aquellos formados sobre materiales no calizos o que muestran lavado importante de carbonatos e iluviación de arcilla. Sin duda alguna, las actuales condiciones climáticas de la región y la litología de la misma, en la que predominan rocas calizas o con suficientes bases, determinan que incluso en los suelos muy evolucionados

nados puedan reconocerse procesos de percarbonatación y calcificación secundarios, como se deduce del grado de saturación del complejo adsorbente.

Calcio y magnesio son los cationes de cambio que predominan, en especial el primero que en ocasiones alcanza una proporción diez veces superior al segundo. Por el contrario sólo en algunos horizontes de los perfiles I, VIII y X la relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ es inferior a 1. Por último, los iones Na^+ y K^+ de cambio se encuentran siempre en muy bajas proporciones.

TABLA I

Contenido en materia orgánica, relación C/N, pH y carbonatos de los suelos

| Perfil | Hcri- zante | % en el suelo | | | C/N | pH | | CO ₃ Ca |
|--------|--------------------------------|---------------|------|------|------|------------------|------|--------------------|
| | | M.O. | C | N | | H ₂ O | ClK | |
| I. | A ₀ +A ₁ | 0.26 | 0.15 | 0.02 | 7.5 | 6.60 | 5.80 | 0.0 |
| | A/C | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 4.0 | 6.65 | 5.70 | 0.0 |
| | C ₁ | — | — | — | — | 7.50 | 6.50 | 0.0 |
| | C ₂ | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 2.0 | 7.00 | 6.10 | 0.0 |
| | Dg ₂₋₁ | 0.14 | 0.08 | 0.01 | 8.0 | 5.10 | 4.20 | 0.0 |
| | Dg ₂₋₂ | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 4.0 | 5.00 | 4.00 | 0.0 |
| II | A ₀ +A ₁ | 0.83 | 0.48 | 0.08 | 6.0 | 6.30 | 5.70 | 0.0 |
| | A ₁ | 0.19 | 0.11 | 0.01 | 11.0 | 6.50 | 5.70 | 0.0 |
| | A/C | 0.14 | 0.08 | 0.01 | 8.0 | 7.10 | 6.40 | 0.0 |
| | C | 0.03 | 0.02 | — | — | 7.30 | 6.40 | 0.0 |
| | Dg ₁ | 0.33 | 0.19 | 0.02 | 9.5 | 5.30 | 4.40 | 0.0 |
| | Dg ₂ | 0.22 | 0.13 | 0.01 | 13.0 | 5.20 | 4.50 | 0.0 |
| III | Ap | 1.78 | 1.03 | 0.09 | 11.4 | 7.60 | — | 13.0 |
| | A/(B) | 1.20 | 0.70 | 0.04 | 17.5 | 7.50 | — | 19.6 |
| | (B)/Ca | 1.17 | 0.68 | 0.04 | 17.0 | 7.45 | — | 13.2 |
| IV | Ap | 0.95 | 0.55 | 0.06 | 9.1 | 7.50 | 6.90 | 31.0 |
| | Ap/(B) | 0.91 | 0.53 | 0.06 | 8.8 | 7.60 | 6.85 | 31.4 |
| | (B) | 0.45 | 0.26 | 0.04 | 6.5 | 7.80 | 6.95 | 34.2 |
| | C ₁ | 0.17 | 0.10 | 0.02 | 5.0 | 7.65 | 7.00 | 32.8 |

TABLA I (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | % en el suelo | | | C/N | pH | | CO ₃ Ca |
|--------|---------------------|---------------|------|------|------|------------------|------|--------------------|
| | | M.O. | C | N | | H ₂ O | CLK | |
| V | Ap | 1.64 | 0.95 | 0.07 | 13.5 | 7.50 | - - | 2.0 |
| | E | 1.52 | 0.88 | 0.06 | 14.6 | 7.40 | - - | 1.7 |
| | E/C | 1.33 | 0.77 | 0.05 | 15.0 | 7.50 | - - | 4.0 |
| | C | 0.79 | 0.46 | 0.03 | 15.3 | 7.50 | - - | 34.0 |
| VI | Ap ₁ | 0.93 | 0.54 | 0.06 | 9.0 | 7.60 | - - | 0.8 |
| | Ap ₂ | 0.79 | 0.46 | 0.04 | 11.5 | 7.70 | - - | 0.4 |
| | E/Ca | 0.59 | 0.34 | 0.04 | 8.5 | 7.70 | - - | 1.6 |
| | B ₂ /Ca | 0.72 | 0.42 | 0.04 | 10.5 | 7.65 | - - | 1.2 |
| VII | Ap | 1.55 | 0.90 | 0.07 | 12.8 | 7.50 | 6.60 | 15.4 |
| | Ap/A | 1.12 | 0.65 | 0.08 | 8.1 | 7.60 | 6.70 | 15.7 |
| | B ₁ | 1.02 | 0.59 | 0.06 | 9.8 | 7.70 | 6.75 | 14.6 |
| | B ₂ | 0.91 | 0.53 | 0.06 | 9.8 | 7.90 | 6.80 | 15.8 |
| | B/C ₁ | 0.50 | 0.29 | 0.03 | 9.6 | 7.70 | 6.80 | 13.0 |
| | B/C ₂ | 0.26 | 0.15 | 0.02 | 7.5 | 7.50 | 6.90 | 12.2 |
| VIII | A ₁ | 3.53 | 2.05 | 0.13 | 15.7 | 6.10 | 5.25 | 0.0 |
| | (B) ₁ /C | 0.79 | 0.46 | 0.07 | 6.5 | 5.10 | 4.00 | 0.0 |
| | (B) ₂ /C | 0.60 | 0.35 | 0.05 | 7.0 | 5.30 | 4.25 | 0.0 |
| IX | A | 1.52 | 0.88 | 0.06 | 14.6 | 6.70 | 5.60 | 0.0 |
| | (B)/C ₁ | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 4.0 | 6.60 | 4.00 | 0.0 |
| | C ₁ | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 4.0 | 7.10 | 4.45 | 0.0 |

TABLA I (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | % en el suelo | | | C/N | pH | | CO ₃ Ca |
|--------|--------------------------------|---------------|------|------|------|------------------|------|--------------------|
| | | M.C. | C | N | | H ₂ O | ClK | |
| X | A ₁ | 1.55 | 0.90 | 0.09 | 10.0 | 5.90 | 4.60 | 0.0 |
| | (B) | 0.34 | 0.20 | 0.03 | 6.6 | 5.70 | 4.00 | 0.0 |
| | (B) ₁ /C | 0.22 | 0.13 | 0.02 | 6.5 | 6.00 | 4.10 | 0.0 |
| | (B) ₂ /C | 0.14 | 0.08 | 0.0 | - - | 6.40 | 4.30 | 0.0 |
| | (B) ₃ /C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | - - | 6.90 | 5.60 | 0.0 |
| | C ₁ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | - - | 6.60 | 4.30 | 0.0 |
| XI | A ₀ +A ₁ | 3.29 | 1.91 | 0.17 | 11.2 | 6.95 | 6.00 | 0.0 |
| | A ₁ | 0.76 | 0.44 | 0.06 | 7.3 | 7.00 | 6.25 | 0.0 |
| | A/(B) | 0.0 | 0.0 | 0.03 | - - | 7.00 | 6.45 | 0.0 |
| | (B) | 0.0 | 0.0 | 0.03 | - - | 6.70 | 6.40 | 0.0 |
| | (B) | 0.0 | 0.0 | 0.03 | - - | 6.80 | 6.20 | 0.0 |
| XII | A ₁ -1 | 3.07 | 1.78 | 0.11 | 16.1 | 7.40 | 6.60 | 2.4 |
| | A ₁ -2 | 0.60 | 0.35 | 0.05 | 7.0 | 7.40 | 6.45 | 0.8 |
| | C ₁ | 0.76 | 0.44 | 0.03 | 14.6 | 8.00 | 7.10 | 72.0 |
| XIII | Ap | 2.28 | 1.32 | 0.13 | 10.1 | 7.60 | 6.80 | 5.7 |
| | Ap/B | 1.57 | 0.97 | 0.08 | 12.1 | 7.60 | 6.90 | 15.5 |
| | B/Ca | 0.72 | 0.42 | 0.03 | 14.0 | 7.70 | 6.90 | 64.2 |
| | C/Ca | 0.33 | 0.19 | 0.01 | 19.0 | 7.60 | 7.00 | 62.7 |
| XIV | Ap ₁ | 1.55 | 0.90 | 0.10 | 9.0 | 7.70 | 6.90 | 2.0 |
| | Ap ₂ | 1.74 | 1.01 | 0.10 | 10.1 | 7.80 | 6.90 | 2.0 |
| | B/Ca ₁ | 1.02 | 0.59 | 0.06 | 9.8 | 7.75 | 6.90 | 22.4 |
| | B/Ca ₂ | 0.55 | 0.32 | 0.03 | 10.6 | 7.80 | 7.00 | 32.4 |

TABLA I (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | % en el suelo | | | C/N | pH | | CC ₃ Ca |
|--------|-------------------|---------------|------|-------|------|------------------|------|--------------------|
| | | M.C. | C | N | | H ₂ C | ClK | |
| XV | A ₁ | 5.84 | 3.39 | 0.23 | 14.7 | 6.80 | 6.00 | 0.0 |
| | A ₂ | 2.72 | 1.58 | 0.08 | 17.2 | 6.90 | 6.20 | 0.0 |
| | A/B | 2.04 | 1.19 | 0.07 | 17.0 | 6.65 | 5.70 | 0.0 |
| | B ₂ | 0.45 | 0.26 | 0.03 | 8.6 | 6.45 | 5.40 | 0.4 |
| | B ₃ | 0.26 | 0.15 | 0.02 | 7.5 | 6.70 | 5.70 | 0.3 |
| | C/Ca | 0.26 | 0.15 | 0.01 | 15.0 | 7.80 | 6.90 | 57.9 |
| XVI | Ap | 0.69 | 0.40 | 0.04 | 10.0 | 8.10 | 7.00 | 12.4 |
| | A/B | 0.60 | 0.35 | 0.04 | 8.7 | 7.90 | 7.00 | 5.6 |
| | B ₂ | 0.22 | 0.13 | 0.02 | 6.5 | 7.70 | 6.70 | 0.0 |
| | B ₃₋₁ | 0.03 | 0.02 | 0.004 | 5.0 | 7.90 | 6.90 | 0.0 |
| | B ₃₋₂ | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 2.0 | 8.00 | 7.00 | 0.0 |
| | C/Ca | 0.0 | 0.0 | 0.0 | - - | 8.40 | 7.40 | 2.6 |
| XVII | Ap | 0.19 | 0.11 | 0.01 | 11.0 | 7.80 | 6.90 | 4.0 |
| | B ₂ | 0.86 | 0.50 | 0.05 | 10.0 | 7.55 | 6.85 | 0.6 |
| | B ₃ | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 2.0 | 7.50 | 6.90 | 0.0 |
| | C/Ca | 0.19 | 0.11 | 0.01 | 11.0 | 8.00 | 7.80 | 57.8 |
| XVIII | Ap | 0.19 | 0.11 | 0.01 | 11.0 | 6.25 | 5.40 | 0.0 |
| | Eg ₁ | 0.34 | 0.20 | 0.03 | 6.6 | 6.20 | 5.30 | 0.0 |
| | Eg ₂₋₁ | 0.10 | 0.07 | 0.01 | 7.0 | 6.00 | 5.00 | 0.0 |
| | Eg ₂₋₂ | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 4.0 | 5.90 | 5.20 | 0.0 |
| | E/Ca | 0.03 | 0.02 | 0.001 | 20.0 | 7.60 | 6.60 | 4.1 |
| | I | 0.0 | 0.0 | 0.001 | - - | 7.50 | 6.90 | 5.3 |

TABLA I (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | % en el suelo | | | C/N | pH | | CO ₃ Ca |
|--------|--------------------|---------------|------|-------|------|------------------|------|--------------------|
| | | M.O. | C | N | | H ₂ O | CLK | |
| XIX | Ap ₁ | 0.62 | 0.36 | 0.04 | 9.0 | 7.00 | -- | 0.0 |
| | Ap ₂ | 0.59 | 0.34 | 0.03 | 14.6 | 6.90 | -- | 0.0 |
| | B ₁₋₁ | 0.21 | 0.12 | 0.02 | 6.0 | 6.75 | -- | 0.0 |
| | B ₁₋₂ | 0.48 | 0.28 | 0.02 | 14.0 | 6.55 | -- | 0.0 |
| | B _{2g} | 0.76 | 0.44 | 0.04 | 11.0 | 5.90 | -- | 0.0 |
| | B _g /Ca | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -- | 5.90 | -- | 0.0 |
| XX | Ap ₁ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -- | 6.60 | -- | 0.0 |
| | Ap ₂ | 0.03 | 0.02 | 0.007 | 2.9 | 7.00 | -- | 0.0 |
| | g ₁ | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 1.0 | 7.20 | -- | 0.0 |
| | g ₂₋₁ | 0.34 | 0.20 | 0.02 | 10.0 | 6.40 | -- | 0.0 |
| | g ₂₋₂ | 0.07 | 0.04 | 0.02 | 2.0 | 6.60 | ---- | 0.0 |

TABLA II

Capacidad de cambio de bases, bases cambiables y saturación en bases de los suelos

| Perfil | Hori- zonte | m.e.q./100 grs | | | | | $\frac{Ca^{++}}{Mg^{++}}$ | S | T-S | V |
|--------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------------|-------|------|--------|
| | | T | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | $\frac{Ca^{++}}{Mg^{++}}$ | | | |
| I | A ₀ +A ₁ | 2.80 | 0.0 | 0.10 | 1.30 | 0.90 | 1.44 | 2.30 | 0.50 | 82.14 |
| | A/C | 0.40 | 0.0 | 0.06 | 0.24 | 0.10 | 2.40 | 0.40 | 0.0 | 100.00 |
| | C ₁ | 2.40 | 0.0 | 0.08 | 1.20 | 0.60 | 2.00 | 1.88 | 0.52 | 78.33 |
| | C ₂ | 0.60 | 0.0 | 0.10 | 0.30 | 0.20 | 1.50 | 0.60 | 0.0 | 100.00 |
| | Dg ₂₋₁ | 3.60 | 0.0 | 0.15 | 1.80 | 0.50 | 3.60 | 2.45 | 1.15 | 68.05 |
| | Dg ₂₋₂ | 2.60 | 0.0 | 0.13 | 1.40 | 0.53 | 2.64 | 2.06 | 0.54 | 79.23 |
| II | A ₀ +A ₁ | 10.01 | 0.0 | 0.28 | 6.57 | 1.80 | 3.65 | 8.65 | 1.36 | 86.40 |
| | A ₁ | 2.87 | 0.0 | 0.24 | 1.75 | 0.88 | 1.98 | 2.87 | 0.0 | 100.00 |
| | A/C | 3.17 | 0.0 | 0.14 | 2.00 | 0.90 | 2.22 | 3.04 | 0.13 | 95.90 |
| | C | 0.90 | 0.0 | 0.10 | 0.42 | 0.38 | 1.10 | 0.90 | 0.0 | 100.00 |
| | Dg ₁ | 5.10 | 0.0 | 0.32 | 2.10 | 2.40 | 0.87 | 4.82 | 0.28 | 94.51 |
| | Dg ₂ | 14.57 | 0.35 | 0.30 | 5.40 | 6.10 | 0.88 | 12.15 | 2.42 | 83.39 |
| III | Ap | 9.31 | 0.15 | 0.94 | 5.62 | 2.60 | 2.16 | 9.31 | 0.0 | 100.00 |
| | A/(B) | 9.40 | 0.40 | 0.56 | 5.30 | 2.70 | 1.96 | 8.96 | 0.44 | 95.32 |
| | (B)/Ca | 14.40 | 0.45 | 0.44 | 8.71 | 4.80 | 1.81 | 14.40 | 0.0 | 100.00 |
| IV | Ap | 19.01 | 0.0 | 1.32 | 15.59 | 2.10 | 7.42 | 19.01 | 0.0 | 100.00 |
| | Ap/(B) | 18.31 | 0.0 | 0.98 | 15.42 | 1.90 | 8.12 | 18.31 | 0.0 | 100.00 |
| | (B) | 17.82 | 0.70 | 0.56 | 14.16 | 2.40 | 5.90 | 14.16 | 0.0 | 100.00 |
| | C ₁ | 17.33 | 2.50 | 0.50 | 11.23 | 3.10 | 3.62 | 17.33 | 0.0 | 100.00 |

TABLA II (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | m.e.q./100 grs | | | | | $\frac{\text{Ca}^{++}}{\text{Mg}^{++}}$ | S | T-S | V |
|--------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|---|-------|------|--------|
| | | T | Na^{+} | K^{+} | Ca^{++} | Mg^{++} | $\frac{\text{Ca}^{++}}{\text{Mg}^{++}}$ | | | |
| V | Ap | 39.27 | 0.0 | 1.20 | 34.10 | 3.20 | 10.66 | 38.50 | 0.77 | 98.04 |
| | B | 33.15 | 0.0 | 0.90 | 27.70 | 4.30 | 6.34 | 32.90 | 0.25 | 99.24 |
| | B/C | 27.30 | 0.0 | 0.76 | 20.80 | 5.50 | 3.78 | 27.06 | 0.24 | 99.12 |
| | C | 11.83 | 0.10 | 0.38 | 6.55 | 4.80 | 1.36 | 11.83 | 0.0 | 100.00 |
| VI | Ap ₁ | 40.20 | 0.60 | 1.20 | 34.30 | 3.40 | 10.09 | 39.50 | 0.70 | 98.04 |
| | Ap ₂ | 38.50 | 0.60 | 0.80 | 33.50 | 3.60 | 9.30 | 38.50 | 0.0 | 100.00 |
| | B/Ca | 41.20 | 1.10 | 0.40 | 35.00 | 4.50 | 7.78 | 41.00 | 0.20 | 99.51 |
| | B ₂ /Ca | 42.20 | 1.10 | 0.60 | 36.20 | 3.90 | 9.28 | 41.80 | 0.40 | 99.05 |
| VII | Ap | 60.96 | 0.0 | 0.90 | 55.16 | 4.90 | 11.26 | 60.96 | 0.0 | 100.00 |
| | Ap/A | 61.35 | 0.60 | 0.46 | 54.59 | 5.70 | 9.57 | 61.35 | 0.0 | 100.00 |
| | B ₁ | 59.40 | 1.25 | 0.46 | 51.49 | 6.20 | 8.30 | 59.40 | 0.0 | 100.00 |
| | B ₂ | 60.82 | 2.70 | 0.40 | 50.52 | 7.20 | 7.02 | 60.82 | 0.0 | 100.00 |
| | B/C ₁ | 68.12 | 7.00 | 0.38 | 52.44 | 8.30 | 6.32 | 68.12 | 0.0 | 100.00 |
| | B/C ₂ | 64.70 | 5.60 | 0.36 | 51.34 | 7.40 | 6.93 | 64.70 | 0.0 | 100.00 |
| VIII | A | 10.28 | 0.0 | 0.24 | 6.00 | 3.20 | 1.87 | 9.44 | 0.84 | 91.83 |
| | (B) ₁ /C | 4.50 | 0.0 | 0.12 | 1.72 | 1.92 | 0.89 | 3.76 | 0.74 | 83.55 |
| | (B) ₂ /C | 7.44 | 0.15 | 0.12 | 2.60 | 3.40 | 0.82 | 6.47 | 0.97 | 86.96 |
| IX | A | 26.15 | 0.0 | 0.04 | 19.60 | 6.50 | 3.01 | 26.14 | 0.01 | 99.96 |
| | (B)/C ₁ | 28.32 | 0.0 | 0.0 | 19.80 | 8.40 | 2.36 | 28.20 | 0.12 | 99.58 |
| | C ₁ | 38.90 | 1.45 | 0.0 | 23.80 | 12.80 | 1.86 | 38.05 | 0.85 | 97.81 |

TABLA II (continuación)

| Perfil | Horizonte | m.e.q./100 grs | | | | | $\frac{Ca^{++}}{Mg^{++}}$ | S | T-S | V |
|--------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------------|-------|------|--------|
| | | T | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | | | | |
| X | A ₁ | 17.40 | 0.0 | 0.12 | 6.90 | 3.90 | 1.61 | 10.92 | 6.48 | 62.76 |
| | (B) | 13.56 | 0.0 | 0.25 | 7.68 | 5.24 | 1.46 | 13.17 | 0.39 | 97.12 |
| | (B) _{1/C} | 12.18 | 0.0 | 0.25 | 6.43 | 5.50 | 1.17 | 12.18 | 0.0 | 100.00 |
| | (B) _{2/C} | 10.20 | 0.25 | 0.06 | 4.60 | 5.20 | 0.88 | 10.11 | 0.09 | 99.12 |
| | (B) _{3/C} | 13.60 | 0.35 | 0.06 | 8.39 | 4.80 | 1.75 | 13.60 | 0.0 | 100.00 |
| | C ₁ | 12.10 | 0.45 | 0.04 | 6.21 | 5.40 | 1.15 | 12.10 | 0.0 | 100.00 |
| XI | A ₀ +A ₁ | 20.70 | 0.0 | 0.46 | 12.70 | 4.80 | 2.64 | 17.96 | 2.81 | 86.47 |
| | A ₁ | 8.80 | 0.0 | 0.20 | 5.80 | 2.24 | 2.59 | 8.24 | 0.56 | 93.64 |
| | A/(B) | 8.00 | 0.0 | 0.13 | 5.70 | 2.10 | 2.71 | 7.93 | 0.07 | 99.12 |
| | (B) | 5.20 | 0.0 | 0.08 | 3.70 | 1.40 | 2.64 | 5.18 | 0.02 | 99.61 |
| | (B) | 4.30 | 0.0 | 0.03 | 3.90 | 0.32 | 12.19 | 4.25 | 0.05 | 98.84 |
| XII | A ₁₋₁ | 11.95 | 0.0 | 0.50 | 9.85 | 1.60 | 6.16 | 11.95 | 0.0 | 100.00 |
| | A ₁₋₂ | 12.80 | 0.0 | 0.38 | 11.32 | 1.10 | 10.29 | 12.80 | 0.0 | 100.00 |
| | C ₁ | 3.20 | 0.0 | 0.04 | 1.96 | 1.20 | 1.62 | 3.20 | 0.0 | 100.00 |
| XIII | Ap | 39.18 | 0.0 | 1.10 | 35.08 | 3.00 | 11.69 | 39.18 | 0.0 | 100.00 |
| | Ap/B | 31.51 | 0.0 | 0.54 | 27.17 | 3.80 | 7.15 | 31.51 | 0.0 | 100.00 |
| | B/Ca | 15.72 | 0.0 | 0.22 | 13.50 | 2.00 | 6.75 | 15.72 | 0.0 | 100.00 |
| | C/Ca | 12.55 | 0.0 | 0.12 | 10.33 | 2.10 | 4.92 | 12.55 | 0.0 | 100.00 |
| XIV | Ap ₁ | 26.50 | 0.60 | 1.58 | 19.52 | 4.80 | 4.07 | 26.50 | 0.0 | 100.00 |
| | Ap ₂ | 34.89 | 0.55 | 1.60 | 27.74 | 5.00 | 5.55 | 34.89 | 0.0 | 100.00 |
| | B/Ca ₁ | 20.70 | 0.60 | 0.70 | 14.55 | 4.85 | 3.00 | 20.70 | 0.0 | 100.00 |
| | B/Ca ₂ | 20.00 | 0.65 | 0.34 | 15.91 | 3.10 | 5.13 | 20.00 | 0.0 | 100.00 |

TABLA II (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | m.e.q./100 grs | | | | | Ca ⁺⁺ | | S | T-S | V |
|--------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|------|--------|
| | | T | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | | | |
| XV | A ₁ | 14.58 | 0.0 | 0.64 | 11.52 | 2.30 | 15.77 | 5.01 | 14.46 | 0.12 | 99.18 |
| | A ₂ | 7.06 | 0.0 | 0.46 | 5.00 | 1.60 | 22.67 | 3.12 | 7.06 | 0.0 | 100.00 |
| | A/B | 11.05 | 0.0 | 0.50 | 7.80 | 1.40 | 12.67 | 5.57 | 9.70 | 1.35 | 87.78 |
| | B ₂ | 17.34 | 0.0 | 0.46 | 12.20 | 1.96 | 11.30 | 6.22 | 14.62 | 2.72 | 84.31 |
| | B ₃ | 14.58 | 0.0 | 0.28 | 12.82 | 1.44 | 9.88 | 8.90 | 14.58 | 0.0 | 100.00 |
| | C/Ca | 7.00 | 0.0 | 0.13 | 5.83 | 1.04 | 14.86 | 5.60 | 7.00 | 0.0 | 100.00 |
| XVI | Ap | 6.80 | 0.0 | 0.36 | 5.44 | 1.00 | 14.71 | 5.44 | 6.80 | 0.0 | 100.00 |
| | A/B | 5.70 | 0.0 | 0.28 | 4.42 | 1.00 | 17.54 | 4.42 | 5.70 | 0.0 | 100.00 |
| | B ₂ | 8.40 | 0.0 | 0.32 | 6.48 | 1.60 | 19.05 | 4.05 | 8.40 | 0.0 | 100.00 |
| | B ₃₋₁ | 5.20 | 0.0 | 0.12 | 4.08 | 1.00 | 19.23 | 4.08 | 5.20 | 0.0 | 100.00 |
| | B ₃₋₂ | 3.50 | 0.0 | 0.08 | 2.62 | 0.80 | 22.86 | 3.27 | 3.50 | 0.0 | 100.00 |
| | C/Ca | 3.70 | 0.0 | 0.08 | 3.32 | 0.30 | 8.11 | 11.07 | 3.70 | 0.0 | 100.00 |
| XVII | Ap | 8.94 | 0.0 | 0.32 | 7.22 | 1.40 | 15.66 | 5.16 | 8.94 | 0.0 | 100.00 |
| | B ₂ | 19.38 | 0.0 | 0.32 | 17.56 | 1.40 | 7.22 | 12.54 | 19.28 | 0.10 | 99.48 |
| | B ₃ | 17.88 | 0.0 | 0.12 | 13.60 | 1.60 | 8.95 | 8.50 | 15.32 | 2.56 | 85.68 |
| | C/Ca | 4.40 | 0.0 | 0.08 | 2.62 | 1.70 | 38.64 | 1.54 | 4.40 | 0.0 | 100.00 |
| XVIII | Ap | 3.40 | 0.0 | 0.18 | 2.60 | 0.40 | 11.77 | 6.50 | 3.18 | 0.22 | 93.53 |
| | Bg ₁ | 7.52 | 0.0 | 0.16 | 5.44 | 1.92 | 25.53 | 2.83 | 7.52 | 0.0 | 100.00 |
| | Bg ₂₋₁ | 14.70 | 0.0 | 0.18 | 7.46 | 2.70 | 16.37 | 2.76 | 10.34 | 4.36 | 70.34 |
| | Bg ₂₋₂ | 17.70 | 0.50 | 0.18 | 12.82 | 4.20 | 23.73 | 3.05 | 17.70 | 0.0 | 100.00 |
| | B/Ca | 13.97 | 0.80 | 0.16 | 7.40 | 5.60 | 42.09 | 1.32 | 13.96 | 0.01 | 99.93 |
| | D | 18.83 | 0.95 | 0.16 | 12.32 | 5.40 | 28.68 | 2.28 | 18.83 | 0.0 | 100.00 |

TABLA II (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | m.e.q./100 grs | | | | | Ca ⁺⁺ | S | T-S | V |
|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------|------|--------|
| | | T | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | | | |
| XIX | Ap1 | 9.70 | 0.50 | 0.30 | 7.80 | 1.10 | 7.09 | 9.70 | 0.0 | 100.00 |
| | Ap2 | 8.70 | 0.60 | 0.20 | 6.50 | 1.00 | 6.50 | 8.30 | 0.40 | 95.40 |
| | B1-1 | 8.80 | 0.60 | 0.20 | 6.20 | 1.60 | 3.87 | 8.60 | 0.20 | 97.73 |
| | B1-2 | 12.10 | 1.00 | 0.30 | 7.80 | 1.80 | 4.33 | 10.90 | 1.20 | 90.08 |
| | B2g | 16.80 | 0.90 | 0.30 | 11.70 | 2.50 | 4.68 | 15.40 | 1.40 | 91.67 |
| | Bg/Ca | 15.10 | 0.80 | 0.20 | 9.60 | 2.60 | 3.69 | 13.20 | 1.90 | 87.42 |
| XX | Ap1 | 2.10 | 0.20 | 0.10 | 1.40 | 0.40 | 0.35 | 2.10 | 0.0 | 100.00 |
| | Ap2 | 2.00 | 0.10 | 0.10 | 1.40 | 0.30 | 0.47 | 1.90 | 0.10 | 95.00 |
| | g1 | 2.80 | 0.20 | 0.10 | 1.60 | 0.70 | 0.23 | 2.60 | 0.20 | 92.86 |
| | g2-1 | 22.20 | 0.60 | 0.30 | 12.70 | 4.90 | 2.59 | 18.50 | 3.70 | 83.33 |
| | g2-2 | 22.10 | 0.80 | 0.30 | 13.50 | 5.40 | 2.50 | 20.00 | 2.10 | 90.50 |

3.2 - Hierro total, hierro libre (Deb) e hierro libre/ /hierro total (%)

La tabla III contiene los resultados obtenidos en las determinaciones de hierro total y de hierro libre, así como las relaciones hierro libre/total. Los datos de % Fe_2O_3 total permiten hacer las siguientes consideraciones generales:

Los suelos analizados muestran contenidos en Fe_2O_3 total comprendidos entre 0.36 y 8.18%, alcanzándose excepcionalmente valores de 35 a 55% en los horizontes de suelo en el perfil de tierra parda ferrítica. Con los valores medios de hierro total en los horizontes de suelo de los perfiles de cada grupo pueden hacerse convencionalmente cuatro clases:

| Contenido medio on % de Fe_2O_3 en los suelos | Suelos |
|---|---|
| 2 % | Ranker arenoso (R.a.) |
| 2 a 4 % | Suelos rojos mediterráneos lavados (S.R.M.L.); Suelos pardos lavados con pseudogley (S.P.L.g.); Suelo rendsiniforme (REN.); Suelo margoso vértico (S.M.V.); Tierras negras andaluzas (T.N.A.) |
| 4 a 6 % | Suelos pardos rojizos de terraza (S.P.R.t.); Suelo rojo terrificado (S.R.T.); Tierras pardas meridionales (T.P.M.) |
| 35 a 55 % | Tierra parda ferrítica (T.P.F.) |

Por consiguiente, los resultados permiten indicar que la mayoría de estos suelos contienen cantidades de Fe_2O_3 total comprendidas entre 2 y 6%.

Para un conjunto de nueve grupos o tipos de suelos con diecinueve perfiles y sesenta y siete muestras (horizontes de suelos) el valor medio es 3.26% de Fe_2O_3 total. Un grupo, - el perfil de tierra parda ferrítica (T.P.F.) -, de acuerdo con lo indicado por Kubiena (1953), Storrier y Muir (1962) y Paneque y Bellinfante (1964) muestra contenidos en hierro excepcionalmente elevados comparables con los de algunos suelos ferralíticos.

Los materiales subyacentes a los horizontes de suelo presentan contenidos de Fe_2O_3 total que oscilan entre 0.2 y 10%, con un valor medio de 3.4% para un total de veinte muestras.

Teniendo presente los valores de Fe_2O_3 % calculados por Volobuev (1964) para distintos grupos de suelos mundiales, puede decirse que los de Andalucía Occidental se encuentran en el grado 5 a 10% de Fe_2O_3 , en el que dicho autor sitúa seis de ocho grupos de suelos zonales típicos con las frecuencias más altas para los suelos de cada grupo. En el grupo de los Krassnozen o suelos rojos tropicales el 25% de los suelos contienen de 15 a 20% de Fe_2O_3 , y en el de los suelos podsólicos el 60% contienen menos de 5% de Fe_2O_3 . En el primer grupo (Krassnozon) sólo un 5% tiene Fe_2O_3 en la proporción indicada para la T.P.F. de los Marinos.

Asímismo puede indicarse que la mayoría de los suelos estudiados de Anadalucía Occidental muestran contenidos en hierro del orden que señala Segalen (1964) para suelos pardos lavados (2.2 a 4%) y brunizen (1 a 4%), mientras que los suelos pardos ácidos contienen proporciones de hierro (1 a 2%) tan sólo comparables con las de los Rankers arenosos (R.a.).

Los datos correspondientes a hierro libre (Deb, 1950) y a las relaciones % hierro libre/total pueden ser comentados del modo siguiente:

Todos los suelos contienen menos de 1% de hierro libre, si se exceptúa el perfil de T.P.F. en el que dicho valor alcanza el 4%; por el contrario las proporciones de hierro libre a total varían desde 7 a 53%.

Los valores medios de hierro libre en los horizontes del suelo de cada grupo permiten dividir éstos en tres clases:

| Contenido en % de Fe_2O_3 libre | Suelos |
|--|---|
| 0.23 á 0.75 | R.a.; T.N.A.; REN.; S.P.L.g. |
| 0.75 á 1.0 | S.R.T.; S.M.V.; S.R.M.L.; T.P.M.; S.P.R.t. |
| 4.0 | T.P.F. |

Cuatro grupos (ranker aronoso, tierra negra andaluza, rendsina y suelo pardo lavado con pseudogley), con nueve perfiles y treinta y seis muestras, tienen hie-

erro libre comprendido entre 0.23 y 0.75%; cinco grupos (suelo rojo terrificado, suelo margoso vértico, suelo rojo mediterráneo lavado, tierra parda meridional y suelo pardo rojizo), con diez perfiles y treinta y una muestras, tienen valores de hierro libre comprendidos entre 0.75 y 1.0%. Un último grupo, el perfil de tierra parda ferrítica, tiene 4.0% de hierro libre como valor medio de cinco horizontes de suelo.

Comparando estos resultados con los que cita Segalen (1964) puedo indicarse que en general son del mismo orden que los correspondientes a diversos suelos de regiones templadas, exceptuando la T.P.F. en los suelos estudiados de Andalucía Occidental.

Atendiendo al % de hierro libre con respecto al total, los suelos estudiados pueden convencionalmente distribuirse en clases del modo siguiente:

| % hierro | libre ----- total | Suelos |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| 7 a 15 % | | T.N.A.; S.R.T.; T.P.F.; REN. |
| 15 a 30 % | | T.P.M.; S.M.V.; S.P.R.t. |
| 30 a 45 % | | S.P.L.g. |
| 45 a 60 % | | S.R.M.L.; R.a. |

Cuatro grupos (T.N.A., S.R.T., T.P.F., REN.), con seis perfiles y diecinueve muestras de suelos, contienen % de hierro libre/total entre 7 y 15%; tres grupos

(T.P.M., S.M.V., S.P.R.t.), con seis perfiles y dieciseis muestras, contienen de 30 a 45%; y finalmente, dos grupos (S.R.M.L., R.a.) contienen % de hierro libre a total entre 45 y 60.

Estos datos indican que mientras se aprecia poca variación en el contenido de hierro libre, la proporción de hierro libre por 100 g. de Fe_2O_3 total muestra diferencias más marcadas entre los diversos grupos de suelos estudiados, por lo que estas relaciones pueden ser de interés en la caracterización de los mismos.

Por último, las variaciones de los datos de hierro total, hierro libre y % de hierro libre/total con la profundidad del perfil pueden ser comentadas también de un modo general.

En los suelos estudiados existen tres secuencias principales de variación: a) El contenido en hierro disminuye con la profundidad (caso de los suelos arenosos); b) se mantiene constante a lo largo del perfil (rendsina, suelo margoso vértico, tierra negra andaluza, tierra parda meridional); c) finalmente, el hierro se acumula en horizontes subsuperficiales (suelo rojo mediterráneo lavado). Estas variaciones responden indudablemente a dinámicas de formación y evolución distintas en los diversos grupos; se reflejan en la morfología de los suelos y pueden servir para un mejor conocimiento de las propiedades y procesos genéticos de los mismos. Serán discutidas más adelante cuando se comenten otros resultados experimentales.

TABLA III

Contenidos en Fe_2O_3 total y libre y % de hierro libre

total

| Perfil | Hori- zonte | % Fe_2O_3 total | Fe_2O_3 libre p.p.m. | % Fe libre ----- total |
|--------|--------------------|------------------------------------|---|---|
| I | A_0+A_1 | 0.40 | 2948 | 73.70 |
| | A/C | 0.54 | 1842 | 34.11 |
| | C ₁ | 0.41 | 1803 | 43.98 |
| | C ₂ | 0.72 | 2147 | 29.82 |
| | Dg ₂ -1 | 5.07 | 11334 | 22.35 |
| | Dg ₂ -2 | 1.60 | 7377 | 46.11 |
| II | A_0+A_1 | 0.44 | 2576 | 58.54 |
| | A ₁ | 0.41 | 2708 | 66.05 |
| | A/C | 0.37 | 2391 | 64.62 |
| | C | 0.36 | 2075 | 57.64 |
| | Dg ₁ | 1.80 | 10145 | 56.36 |
| | Dg ₂ | 1.96 | 9098 | 46.42 |
| III | Ap | 3.81 | 5766 | 15.13 |
| | A/(B) | 3.81 | 5952 | 15.62 |
| | (B)/Ca | 4.18 | 5042 | 12.06 |
| IV | Ap | 4.37 | 7372 | 16.93 |
| | Ap/(B) | 4.95 | 8216 | 17.37 |
| | (B) | 4.29 | 7549 | 17.48 |
| | C ₁ | 3.89 | 7695 | 19.79 |
| V | Ap | 5.09 | 5671 | 11.14 |
| | B | 5.16 | 5295 | 10.26 |
| | B/C | 4.91 | 4871 | 9.92 |
| | C | 3.92 | 6673 | 17.02 |
| VI | Ap ₁ | 3.21 | 3107 | 9.68 |
| | Ap ₂ | 2.75 | 3089 | 11.22 |
| | B/Ca | 3.03 | 2919 | 9.63 |
| | B ₂ /Ca | 3.00 | 3009 | 10.03 |
| VII | Ap | 4.88 | 1312 | 2.69 |
| | Ap/A | 4.69 | 1325 | 2.82 |
| | B ₁ | 4.34 | 1360 | 3.13 |
| | B ₂ | 4.60 | 1439 | 3.13 |
| | B/C ₁ | 4.98 | 2194 | 4.40 |
| | B/C ₂ | 4.47 | 2393 | 5.35 |

TABLA III (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | % Fe ₂ O ₃ total | Fe ₂ O ₃ libre p.p.m. | % Fe libre ----- total |
|--------|--------------------------------|---|--|---------------------------------|
| VIII | A ₁ | 5.88 | 8528 | 14.50 |
| | (B) ₁ /C | 6.12 | 7872 | 12.86 |
| | (B) ₂ /C | 6.17 | 7908 | 12.82 |
| IX | A | 8.18 | 8103 | 9.90 |
| | (B)/C ₁ | 8.01 | 8354 | 10.43 |
| | C ₁ | 10.49 | 7310 | 6.97 |
| X | A ₁ | 4.58 | 10201 | 22.27 |
| | (B) | 6.64 | 14776 | 22.25 |
| | (B) ₁ /C | 7.31 | 16716 | 22.87 |
| | (B) ₂ /C | 8.80 | 19914 | 22.63 |
| | (B) ₃ /C | 7.62 | 110582 | 13.88 |
| | C ₁ | 6.52 | 10772 | 16.52 |
| XI | A ₀ +A ₁ | 36.70 | 39686 | 10.81 |
| | A ₁ | 46.64 | 40650 | 8.71 |
| | A/(B) | 53.34 | 39772 | 7.45 |
| | (B) | 55.59 | 44906 | 8.07 |
| | (B) | 48.14 | 43339 | 9.00 |
| XII | A ₁ -1 | 5.67 | 7674 | 13.53 |
| | A ₁ -2 | 6.23 | 7444 | 11.95 |
| | C ₁ | 1.40 | 4788 | 34.20 |
| XIII | Ap | 5.02 | 11591 | 23.09 |
| | Ap/B | 4.67 | 10579 | 22.65 |
| | B/Ca | 2.29 | 6953 | 30.36 |
| | C/Ca | 1.47 | 4115 | 27.99 |
| XIV | Ap ₁ | 6.61 | 11538 | 17.45 |
| | Ap ₂ | 6.68 | 11764 | 17.61 |
| | B/Ca ₁ | 5.61 | 10120 | 18.04 |
| XV | A ₁ | 1.22 | 7110 | 52.28 |
| | A ₂ | 0.98 | 3565 | 36.38 |
| | A/B | 1.35 | 6956 | 51.53 |
| | B ₂ | 3.85 | 10319 | 26.80 |
| | B ₃ | 3.22 | 8202 | 25.47 |
| | C/Ca | 0.78 | 3135 | 40.19 |

TABLA III (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | % Fe ₂ O ₃ total | Fe ₂ O ₃ libre p.p.m. | % Fe libre ----- total |
|--------|--------------------|---|--|---------------------------------|
| XVI | Ap | 1.68 | 9771 | 58.16 |
| | A/B | 2.32 | 13927 | 60.03 |
| | B ₂ | 4.32 | 19583 | 45.33 |
| | B ₃ -1 | 1.42 | 9554 | 67.28 |
| | B ₃ -2 | 1.32 | 8177 | 61.95 |
| | C/Ca | 0.71 | 4020 | 46.62 |
| XVII | Ap | 2.02 | 7698 | 38.11 |
| | B ₂ | 3.75 | 11563 | 30.83 |
| | B ₃ | 1.53 | 6771 | 44.25 |
| | C/Ca | 0.83 | 3926 | 47.30 |
| XVIII | Ap | 1.00 | 6444 | 64.44 |
| | Bg ₁ | 1.42 | 8774 | 61.79 |
| | Bg ₂ -1 | 4.06 | 11151 | 27.46 |
| | Bg ₂ -2 | 4.41 | 11155 | 25.29 |
| | B/Ca | 4.38 | 11037 | 25.20 |
| | D | 4.62 | 8093 | 17.52 |
| XIX | Ap ₁ | 1.67 | 6299 | 37.72 |
| | Ap ₂ | 1.56 | 6246 | 40.04 |
| | B ₁ -1 | 1.57 | 7358 | 46.87 |
| | B ₁ -2 | 2.05 | 8136 | 39.69 |
| | B _{2g} | 2.45 | 9069 | 37.02 |
| | Bg/Ca | 2.23 | 9094 | 40.78 |
| XX | Ap ₁ | 0.67 | 1887 | 28.16 |
| | Ap ₂ | 0.74 | 1826 | 24.67 |
| | g ₁ | 0.80 | 2698 | 33.72 |
| | g ₂ -1 | 3.02 | 12256 | 40.58 |
| | g ₂ -2 | 2.56 | 6259 | 24.45 |

3.3 - El hierro y el análisis químico de los suelos

En un estudio del hierro en los suelos es conveniente relacionar este elemento con aquellos otros considerados como más importantes para definir la composición química de las formaciones edáficas. Dichas relaciones son útiles para el conocimiento e interpretación de los procesos edafogenéticos y en último término en la definición de los suelos por sus propiedades. Sin embargo la caracterización de los suelos por este camino no es problema fácil y a menudo es necesario el uso de otros criterios en especial morfológicos, físico-químicos y ecológicos.

Las tablas IV y V contienen los resultados del análisis químico de los perfiles que se estudian y las relaciones molares $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Refiriéndonos en primer lugar a las relaciones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ pueden observarse variaciones muy interesantes en los diversos grupos. En efecto, los valores correspondientes van desde los muy bajos para la tierra parda ferrítica y tierra parda meridional (perfiles XI, VIII, IX y X) a los altos y muy altos de los suelos rojos mediterráneos (perfiles XV, XVI y XVII), suelos pardos lavados (perfiles XVIII, XIX y XX), y suelos arenosos (perfiles I y II) pasando por otros que para el conjunto de grupos de suelos estudiados pueden considerarse medios. Como es lógico, las razones $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ son más altas pero en ge-

neral muestran la misma secuencia de variación que las anteriores.

La interpretación de estas razones presenta dificultades cuando se refieren a formaciones de suelos de una misma región climática en la que los restantes factores ecológicos de la génesis (vegetación, topografía, material original, etc.) muestran variaciones importantes, como ocurre con frecuencia en suelos de la región mediterránea y concretamente en los de Andalucía Occidental. En efecto, los diferentes contenidos en SiO_2 , que en los suelos estudiados van desde 12.85 a 97.90% se deben en gran medida a la distinta naturaleza de los materiales originales (arenas silíceas, rocas ígneas y metamórficas, sedimentos margosos, areniscas calizas, etc.) y al distinto origen (coluvial, eólico, fluvial, etc.), naturaleza, y cantidad de aportes extraños. El análisis químico puede reflejar estas circunstancias que influyen en el contenido, distribución y dinámica del hierro en los distintos suelos, como se indicará más adelante.

Aunque los suelos con razones $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ más pequeñas pueden ser los de mayor contenido en hierro o bien los menos silíceos, si se atiende al % de hierro libre/total se encuentran entre dichos suelos los que poseen el menor valor de este cociente. Por el contrario, en los suelos de razones $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ muy altas están los de mayor valor de % de hierro libre/total, como puede apreciarse en el siguiente resumen en el que se han ordo-

nado los distintos grupos de acuerdo con los valores medios de las razones $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$, % de Fe_2O_3 total, % de Fe_2O_3 libre y % de Fe_2O_3 libre/total.

| Suelos | $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ | % Fe_2O_3 total | % Fe_2O_3 libre | % Fe_2O_3 libre/total |
|----------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| T.P.F. | 0.7 - 1.96 | 4.8 | 4.1 | 9.0 |
| T.P.M. | 19 - 28 | 6.5 | 0.96 | 16.0 |
| S.R.T. | 27.0 | 6.0 | 0.75 | 12.0 |
| S.P.R.t. | 22 - 33 | 5.0 | 1.02 | 21.0 |
| REN. | 21 - 46 | 4.0 | 0.60 | 15.0 |
| S.M.V. | 21 - 46 | 4.0 | 0.77 | 17.0 |
| T.N.A. | 21 - 46 | 4.0 | 0.25 | 7.0 |
| S.R.M.L. | 52 - 237 | 2.0 | 0.95 | 46.0 |
| S.P.L.g. | 41 - 359 | 2.0 | 0.74 | 37.0 |
| R.a. | 470 - 700 | 0.45 | 0.23 | 53.0 |

Puede observarse que la tierra parda ferrítica, la tierra parda meridional, el suelo rojo terrificado sobre calizas metamórficas y el suelo pardo rojizo constituyen un conjunto de formaciones edáficas con poca sílice, poco hierro libre, proporciones altas en hierro total y relaciones hierro libre/total bajas y medias.

Los suelos margo-arcillosos (rendsina, suelo margoso vértico y tierra negra andaluza) poseen mayores contenidos en sílice, menos hierro libre, proporciones medias en hierro total y relaciones hierro libre/total

bajas y medias,

Finalmente, los suelos rojos mediterráneos, los pardos lavados y los arenosos son muy silíceos, contienen proporciones variables de hierro libre, en general poco hierro total y las más altas proporciones hierro libre/total. Por consiguiente, parece que el contenido en sílice, y en especial la naturaleza y el origen de esta sílice, influye de una manera decisiva en el hierro de los suelos. Tal dependencia, mejor que directa debe ser a través de otros elementos, como por ejemplo contenido en bases y otras circunstancias que deben actuar en conjunto en el contenido y formas del hierro en los suelos.

Con el objeto de eliminar por un lado las variaciones de la composición química de los suelos por contaminación silíceas, y por otro las variaciones del hierro como elemento de mayor movilidad en estos suelos frente al aluminio, a continuación se indican los valores medios de las razones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ para los distintos grupos analizados, así como las relaciones hierro libre/total y contenidos medios en CaO .

| Suelos | $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ | % Fe_2O_3 libre/total | % CaO |
|----------|---|--|-------|
| R.a. | 3.7 | 53.0 | 0.2 |
| T.P.F. | 0.45 | 9.0 | 0.2 |
| S.P.L.g. | 6.0 | 37.0 | 0.4 |
| S.R.M.L. | 4.6 | 46.0 | 0.5 |
| T.P.M. | 4.7 | 16.0 | 2.0 |
| S.R.T. | 3.6 | 12.0 | 3.0 |
| T.N.A. | 3.6 | 7.0 | 7.0 |
| REN. | 3.1 | 15.0 | 10.0 |
| S.P.R.t. | 3.6 | 21.0 | 13.0 |
| S.M.V. | 3.1 | 17.0 | 20.0 |

Como puede apreciarse los valores de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ varían desde 0.45 en la tierra parda ferrítica a 6.0 en el suelo pardo lavado con pseudogley. En los restantes suelos importa de 3 a 5, correspondiendo los valores más altos a los suelos arenosos, suelos rojos mediterráneos lavados y tierras pardas meridionales. Si se exceptúan estos últimos suelos, en los que el % de hierro libre/total es de 16.0, los restantes son los de mayor proporción (37.0, 46.0 y 53.0%), por lo que resulta que a un mayor contenido de aluminio corresponde un mayor contenido de hierro libre.

Por último, los valores medios de contenido en

óxidos básicos en los distintos suelos permiten dividir estos en dos clases principales: una (suelo arenoso, tierra parda ferrítica, suelo pardo lavado, suelo rojo mediterráneo lavado y tierra parda meridional) con menos de 3% de CaO ; y otra (suelo rojo terrificado sobre caliza cristalina, tierra negra andaluza, rendsina, suelo pardo rojizo de terraza y suelo margoso vértico) con 3.0 a 20.0% de CaO . En la primera clase, - suelos sobre materiales no calizos y suelos descarbonatados sobre calizas -, se encuentran los de más alta razón $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (excepto la tierra parda ferrítica), y en los segundos, - suelos calizos -, los de razón $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ mas bajas.

TABLA IV

Análisis químico total de los suelos. % referido a muestra seca a 110°C

| Perfil | Hori- zonte | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | Calc. |
|--------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|------|-------|------------------|-------------------|-------|
| I | A ₀ +A ₁ | 97.90 | 0.90 | 0.40 | 0.007 | 0.30 | 0.02 | 0.07 | 0.23 | 0.0 | 0.40 |
| | A/C | 96.64 | 0.53 | 0.54 | 0.009 | 0.44 | 0.04 | 0.06 | 0.30 | 0.0 | 0.37 |
| | C ₁ | 96.67 | 0.89 | 0.41 | 0.010 | 0.16 | 0.07 | 0.13 | 0.26 | 0.0 | 0.23 |
| | C ₂ | 94.85 | 1.58 | 0.72 | 0.010 | 0.35 | 0.10 | 0.11 | 0.38 | 0.0 | 0.47 |
| | Dg ₂₋₁ | 73.70 | 13.54 | 5.07 | 0.010 | 0.41 | 0.23 | 0.10 | 0.62 | 0.0 | 5.62 |
| | Dg ₂₋₂ | 89.08 | 5.33 | 1.60 | 0.006 | 0.47 | 0.06 | 0.11 | 0.30 | 0.0 | 2.17 |
| II | A ₀ +A ₁ | 92.91 | 1.39 | 0.44 | 0.016 | 0.35 | 0.11 | 0.17 | 1.02 | 0.06 | 3.87 |
| | A ₁ | 95.75 | 1.26 | 0.41 | 0.021 | 0.19 | 0.24 | 0.05 | 1.04 | 0.0 | 1.05 |
| | A/C | 96.35 | 1.24 | 0.37 | 0.009 | 0.24 | 0.0 | 0.63 | 1.08 | 0.12 | 0.46 |
| | C | 95.86 | 1.77 | 0.36 | 0.008 | 0.22 | 0.38 | 0.43 | 1.25 | 0.12 | 0.46 |
| | Dg ₁ | 85.35 | 7.70 | 1.80 | 0.009 | 0.47 | 0.11 | 0.08 | 1.63 | 0.06 | 2.78 |
| | Dg ₂ | 79.72 | 12.04 | 1.96 | 0.009 | 0.58 | 0.55 | 0.19 | 1.76 | 0.13 | 3.85 |
| III | Ap | 65.77 | 5.61 | 3.81 | 0.072 | 0.59 | 2.31 | 8.50 | 1.96 | 0.27 | 10.34 |
| | A/(B) | 57.12 | 8.02 | 3.81 | 0.064 | 0.47 | 2.70 | 12.52 | 1.94 | 0.26 | 13.35 |
| | (B)/Ca | 59.88 | 9.94 | 4.18 | 0.069 | 0.54 | 2.79 | 9.21 | 2.19 | 0.15 | 11.17 |
| IV | Ap | 39.60 | 9.10 | 4.37 | 0.0 | 0.44 | 3.81 | 19.99 | 1.77 | 0.0 | 21.23 |
| | Ap/(B) | 39.52 | 9.11 | 4.95 | 0.0 | 0.49 | 3.75 | 19.98 | 1.74 | 0.0 | 21.15 |
| | (B) | 38.45 | 8.71 | 4.29 | 0.0 | 0.48 | 3.91 | 20.71 | 1.58 | 0.0 | 21.54 |
| | C ₁ | 38.74 | 8.61 | 3.89 | 0.0 | 0.50 | 4.02 | 21.75 | 1.61 | 0.0 | 32.80 |

TABLA I' (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | Calc. |
|--------|---------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|------|-------|------------------|-------------------|-------|
| V | Ap | 69.96 | 8.22 | 5.09 | 0.096 | 0.67 | 2.05 | 2.85 | 1.57 | 0.41 | 7.07 |
| | B | 69.84 | 12.00 | 5.16 | 0.099 | 0.44 | 2.27 | 2.22 | 1.33 | 0.28 | 6.81 |
| | B/C | 67.54 | 11.44 | 4.91 | 0.060 | 0.67 | 2.28 | 3.98 | 1.91 | 0.19 | 7.65 |
| | C | 40.46 | 5.10 | 3.92 | 0.040 | 0.51 | 2.76 | 22.91 | 1.45 | 0.13 | 21.70 |
| VI | Ap ₁ | 81.56 | 9.01 | 3.21 | 0.12 | 0.57 | 1.23 | 2.09 | 0.65 | 0.14 | 5.92 |
| | Ap ₂ | 76.91 | 11.07 | 2.75 | 0.13 | 0.54 | 1.29 | 2.32 | 0.74 | 0.13 | 6.09 |
| | B/C _a | 72.92 | 11.85 | 3.03 | 0.12 | 0.55 | 1.36 | 3.30 | 0.62 | 0.16 | 6.96 |
| | B ₂ /Ca | 73.75 | 11.47 | 3.00 | 0.09 | 0.59 | 1.54 | 2.45 | 0.74 | 0.16 | 6.48 |
| VII | Ap | 55.82 | 8.76 | 4.88 | 0.059 | 0.23 | 2.45 | 12.23 | 0.78 | 0.0 | 13.76 |
| | Ap/A | 58.14 | 8.78 | 4.69 | 0.058 | 0.29 | 2.49 | 11.67 | 0.67 | 0.0 | 13.76 |
| | B ₁ | 55.47 | 9.05 | 4.34 | 0.055 | 0.48 | 2.28 | 13.16 | 0.71 | 0.0 | 14.22 |
| | B ₂ | 55.24 | 9.44 | 4.60 | 0.061 | 0.47 | 2.40 | 12.09 | 0.71 | 0.0 | 13.69 |
| | B/C ₁ | 57.48 | 10.50 | 4.98 | 0.052 | 0.54 | 2.73 | 10.12 | 0.80 | 0.14 | 12.17 |
| | B/C ₂ | 46.06 | 11.19 | 4.47 | 0.042 | 0.49 | 2.40 | 15.11 | 0.18 | 11.96 | 12.24 |
| VIII | A ₁ | 62.61 | 20.37 | 5.88 | 0.23 | 0.59 | 0.75 | 0.37 | 2.70 | 0.89 | 7.32 |
| | (B) ₁ /C | 59.26 | 24.46 | 6.12 | 0.03 | 0.63 | 0.51 | 0.21 | 1.92 | 0.44 | 5.91 |
| | (B) ₂ /C | 53.55 | 29.44 | 6.17 | 0.02 | 0.29 | 0.23 | 0.19 | 2.40 | 0.25 | 6.86 |
| | C ₁₋₁ | 72.27 | 19.66 | 1.38 | 0.02 | 0.75 | 0.06 | 0.0 | 1.71 | 0.47 | 3.73 |
| | C ₁₋₂ | 96.14 | 2.62 | 0.81 | 0.005 | 0.20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.72 |

TABLA IV (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | Calc. |
|--------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------------------|-------|
| IX | A | 59.89 | 18.26 | 8.18 | 0.16 | 0.45 | 1.89 | 2.93 | 0.38 | 2.16 | 5.72 |
| | (B)/C ₁ | 60.00 | 18.99 | 8.01 | 0.15 | 0.50 | 1.96 | 4.27 | 0.38 | 0.63 | 4.98 |
| | C ₁ | 59.46 | 18.95 | 10.49 | 0.23 | 0.47 | 2.14 | 1.12 | 0.19 | 0.97 | 4.64 |
| | R ₁ | 50.36 | 19.92 | 11.72 | 0.204 | 0.74 | 2.33 | 0.84 | 1.27 | 0.0 | 6.31 |
| | R ₂ | 71.60 | 16.80 | 1.70 | 0.029 | 0.08 | 0.0 | 5.22 | 1.93 | 2.71 | 0.66 |
| | R ₃ | 75.36 | 13.66 | 1.38 | 0.03 | 0.15 | 0.33 | 1.65 | 2.97 | 2.93 | 0.0 |
| | | | | | | | | | | | |
| X | A ₁ | 68.84 | 13.88 | 4.58 | 0.10 | 0.48 | 1.69 | 2.06 | 2.03 | 2.65 | 3.30 |
| | (B) | 64.11 | 17.55 | 6.64 | 0.087 | 0.54 | 0.81 | 2.00 | 1.50 | 0.91 | 4.63 |
| | (B) ₁ /C | 60.83 | 20.09 | 7.31 | 0.11 | 0.59 | 1.80 | 1.90 | 0.94 | 0.0 | 4.78 |
| | (B) ₂ /C | 60.52 | 19.24 | 8.80 | 0.108 | 0.76 | 2.18 | 2.12 | 1.20 | 0.83 | 4.99 |
| | (B) ₃ /C | 61.84 | 19.60 | 7.62 | 0.10 | 0.67 | 2.06 | 2.35 | 1.76 | 1.90 | 4.19 |
| | C ₁ | 65.13 | 15.53 | 6.52 | 0.048 | 0.61 | 1.86 | 2.60 | 1.75 | 1.41 | 3.23 |
| XI | A ₀ +A ₁ | 27.00 | 18.17 | 36.70 | 5.90 | 0.40 | 1.79 | 0.99 | 0.67 | 0.0 | 0.08 |
| | A ₁ | 23.15 | 9.97 | 46.64 | 11.52 | 0.39 | 1.99 | 0.0 | 0.71 | 0.0 | 5.76 |
| | A/(B) | 16.17 | 12.97 | 53.34 | 5.32 | 0.36 | 1.77 | 0.0 | 0.58 | 0.0 | 10.48 |
| | (B) | 16.86 | 9.28 | 55.59 | 6.31 | 0.27 | 1.95 | 0.0 | 0.27 | 0.0 | 11.67 |
| | (B) | 12.85 | 17.44 | 48.14 | 6.53 | 0.30 | 2.48 | 0.0 | 0.22 | 0.0 | 12.97 |
| | R | 1.34 | 0.95 | 5.57 | 1.23 | 0.08 | 17.30 | 30.56 | 0.0 | 0.0 | 56.40 |
| XII | A ₁ -1 | 57.88 | 12.98 | 5.67 | 0.216 | 0.33 | 8.44 | 3.78 | 2.71 | 0.89 | 7.51 |
| | A ₁ -2 | 61.11 | 14.24 | 6.23 | 0.13 | 0.45 | 6.88 | 2.34 | 3.28 | 0.76 | 4.88 |
| | C ₁ | 16.10 | 2.37 | 1.40 | 0.019 | 0.03 | 0.93 | 43.34 | 0.95 | 0.50 | 35.58 |
| | R ₁ | 4.83 | 0.40 | 0.20 | 0.015 | 0.0 | 1.74 | 51.57 | 0.19 | 0.0 | 40.89 |
| | R ₂ | 0.0 | 0.37 | 0.0 | 0.032 | 0.06 | 0.44 | 55.15 | 0.0 | 0.0 | 43.38 |

TABLA IV (continuación)

| Horizonte | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | Calc. | |
|-----------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-------|-------|
| XIII | Ap | 62.66 | 13.94 | 5.02 | 0.10 | 0.78 | 1.34 | 5.01 | 1.62 | 0.0 | 10.07 |
| | Ap/I | 48.28 | 10.63 | 4.67 | 0.066 | 0.51 | 1.25 | 15.94 | 1.45 | 0.07 | 17.19 |
| | B/Ca | 22.84 | 5.03 | 2.29 | 0.026 | 0.31 | 0.86 | 36.70 | 0.76 | 0.0 | 30.79 |
| | C/Ce | 15.42 | 4.10 | 1.47 | 0.027 | 0.23 | 0.99 | 42.36 | 0.51 | 0.06 | 34.48 |
| XIV | Ap ₁ | 61.50 | 15.16 | 6.61 | 0.17 | 0.80 | 2.65 | 2.42 | 2.82 | 0.0 | 8.03 |
| | Ap ₂ | 61.07 | 14.98 | 6.68 | 0.18 | 0.78 | 2.71 | 2.21 | 2.85 | 0.0 | 8.00 |
| | B/Ca ₁ | 46.99 | 12.00 | 5.61 | 0.12 | 0.59 | 2.32 | 14.27 | 2.02 | 0.0 | 15.86 |
| | B/Ca ₂ | 42.82 | 9.96 | 4.96 | 0.106 | 0.49 | 2.29 | 18.93 | 1.58 | 0.0 | 14.22 |
| XV | A ₁ | 81.62 | 7.44 | 1.22 | 0.032 | 0.51 | 0.26 | 0.44 | 1.25 | 0.06 | 6.98 |
| | A ₂ | 87.20 | 5.98 | 0.98 | 0.02 | 0.38 | 0.06 | 0.04 | 1.22 | 0.0 | 3.30 |
| | A/B | 85.94 | 6.99 | 1.36 | 0.02 | 0.43 | 0.24 | 0.31 | 1.30 | 0.0 | 3.01 |
| | B ₂ | 77.92 | 10.96 | 3.85 | 0.03 | 0.47 | 0.01 | 0.54 | 1.58 | 0.0 | 3.50 |
| | B ₃ | 82.02 | 8.30 | 3.32 | 0.03 | 0.51 | 0.56 | 0.04 | 1.46 | 0.06 | 2.66 |
| | C/Ca | 35.51 | 3.09 | 0.78 | 0.01 | 0.16 | 0.57 | 32.44 | 0.61 | 0.0 | 26.44 |
| | C ₁ | 42.78 | 3.37 | 0.87 | 0.02 | 0.24 | 0.35 | 28.89 | 1.09 | 0.06 | 22.70 |
| XVI | Ap | 91.24 | 2.53 | 1.68 | 0.02 | 0.17 | 0.30 | 1.30 | 0.45 | 0.0 | 2.45 |
| | A/B | 90.70 | 3.32 | 2.32 | 0.03 | 0.30 | 0.65 | 0.23 | 0.61 | 0.0 | 2.10 |
| | B ₂ | 85.02 | 5.99 | 4.32 | 0.036 | 0.20 | 0.85 | 0.28 | 0.93 | 0.0 | 2.65 |
| | B ₃ -1 | 94.75 | 1.83 | 1.42 | 0.026 | 0.24 | 0.34 | 0.16 | 0.38 | 0.0 | 0.81 |
| | B ₃ -2 | 94.65 | 1.05 | 1.32 | 0.03 | 0.10 | 0.21 | 0.06 | 0.38 | 0.0 | 0.96 |
| | C/Ca | 73.39 | 0.75 | 0.71 | 0.03 | 0.09 | 0.24 | 13.76 | 0.27 | 0.0 | 11.00 |

TABLA IV (continuación)

| Perfil | Horizonte | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | Calc. |
|--------|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------|-------|------------------|-------------------|-------|
| XVII | Ap | 82.07 | 5.97 | 2.02 | 0.01 | 0.29 | 0.28 | 3.29 | 1.77 | 0.0 | 4.81 |
| | B ₂ | 80.10 | 9.39 | 3.75 | 0.01 | 0.32 | 0.83 | 0.31 | 2.15 | 0.06 | 3.88 |
| | B ₃ | 87.44 | 5.43 | 1.53 | 0.01 | 0.20 | 0.36 | 2.32 | 0.06 | 2.31 | 0.0 |
| | C/Ca | 44.74 | 2.12 | 0.83 | 0.01 | 0.15 | 0.16 | 28.84 | 1.20 | 0.0 | 22.75 |
| XVIII | Ap | 93.33 | 2.79 | 1.00 | 0.05 | 0.31 | 0.05 | 0.10 | 0.45 | 0.0 | 1.17 |
| | B _{g1} | 85.95 | 7.68 | 1.42 | 0.05 | 0.47 | 0.0 | 0.0 | 0.69 | 0.0 | 2.65 |
| | B _{g2-1} | 81.68 | 9.54 | 4.06 | 0.07 | 0.52 | 0.39 | 0.33 | 0.83 | 0.0 | 3.28 |
| | B _{g2-2} | 78.46 | 11.14 | 4.41 | 0.07 | 0.45 | 0.50 | 0.10 | 0.83 | 0.0 | 3.84 |
| | B/Ca | 68.93 | 10.56 | 4.38 | 0.06 | 0.54 | 1.10 | 6.54 | 0.80 | 0.0 | 8.39 |
| | D | 71.15 | 11.49 | 4.62 | 0.08 | 0.66 | 1.26 | 4.26 | 0.97 | 0.0 | 7.02 |
| XIX | Ap ₁ | 90.03 | 5.45 | 1.67 | 0.10 | 0.45 | 0.17 | 0.72 | 0.72 | 0.19 | 2.57 |
| | Ap ₂ | 88.64 | 5.18 | 1.56 | 0.15 | 0.53 | 0.41 | 0.62 | 0.67 | 0.14 | 3.06 |
| | B ₁₋₁ | 86.91 | 5.65 | 1.57 | 0.09 | 0.50 | 0.0 | 1.41 | 0.68 | 0.25 | 1.93 |
| | B ₁₋₂ | 87.96 | 6.17 | 2.05 | 0.07 | 0.58 | 0.53 | 0.93 | 0.71 | 0.25 | 2.78 |
| | B _{2e} | 83.62 | 9.09 | 2.45 | 0.08 | 0.46 | 0.47 | 0.44 | 0.83 | 0.12 | 3.19 |
| | B _g /Ca | 85.10 | 8.39 | 2.23 | 0.05 | 0.50 | 0.13 | 1.59 | 0.83 | 0.15 | 2.98 |
| XX | Ap ₁ | 92.80 | 3.79 | 0.67 | 0.0 | 0.30 | 0.53 | 0.22 | 1.71 | 0.28 | 0.76 |
| | Ap ₂ | 91.93 | 3.89 | 0.74 | 0.0 | 0.23 | 0.18 | 0.22 | 1.83 | 0.31 | 0.73 |
| | B ₁ | 90.27 | 4.71 | 0.80 | 0.0 | 0.21 | 0.29 | 0.27 | 1.95 | 0.31 | 1.72 |
| | B ₂₋₁ | 74.36 | 12.92 | 3.02 | 0.0 | 0.41 | 0.76 | 0.71 | 1.83 | 0.29 | 4.67 |
| | B ₂₋₂ | 78.98 | 12.49 | 2.56 | 0.0 | 0.52 | 0.68 | 0.68 | 1.56 | 0.32 | 4.18 |

TABLA V

Relaciones molares sílice a sesquióxidos

| Perfil | Hori- zonte | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ | $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ |
|--------|--------------------------------|---|--|--|---|
| | | | | | |
| I | A ₀ +A ₁ | 108.61 | 651.68 | 185.13 | 3.53 |
| | A/C | 114.06 | 473.00 | 309.27 | 1.57 |
| | C ₁ | 120.95 | 618.73 | 184.91 | 3.40 |
| | C ₂ | 64.69 | 350.78 | 101.84 | 3.43 |
| | Dg ₂₋₁ | 7.23 | 38.69 | 9.23 | 4.18 |
| | Dg ₂₋₂ | 21.74 | 148.26 | 28.35 | 5.22 |
| II | A ₀ +A ₁ | 74.69 | 572.66 | 113.69 | 4.95 |
| | A ₁ | 91.57 | 612.85 | 128.50 | 4.81 |
| | A/C | 91.62 | 697.13 | 131.43 | 5.25 |
| | C | 71.54 | 725.40 | 91.68 | 7.71 |
| | Dg ₁ | 15.32 | 125.66 | 18.81 | 6.71 |
| | Dg ₂ | 9.64 | 107.86 | 11.23 | 9.62 |
| III | Ap | 12.74 | 45.99 | 19.90 | 2.30 |
| | A/(B) | 8.76 | 39.77 | 12.08 | 3.29 |
| | (B)/Ca | 7.64 | 38.03 | 10.22 | 3.73 |
| IV | Ap | 5.40 | 24.05 | 7.39 | 3.26 |
| | Ap/(B) | 5.21 | 21.28 | 7.36 | 2.88 |
| | (B) | 5.49 | 23.79 | 7.49 | 3.18 |
| | C ₁ | 5.61 | 26.53 | 7.64 | 3.46 |
| V | Ap | 9.63 | 36.49 | 14.44 | 2.52 |
| | B | 7.47 | 35.98 | 9.87 | 3.64 |
| | B/C | 7.43 | 36.61 | 10.02 | 2.33 |
| | C | 8.32 | 27.48 | 13.47 | 2.04 |
| VI | Ap ₁ | 7.66 | 67.53 | 9.05 | 4.40 |
| | Ap ₂ | 9.66 | 74.41 | 11.78 | 6.30 |
| | B/Ca | 8.54 | 63.87 | 10.44 | 6.13 |
| | B ₂ /Ca | 8.85 | 65.28 | 10.91 | 3.82 |
| VII | Ap | 7.79 | 30.45 | 10.81 | 2.80 |
| | Ap/Λ | 8.12 | 32.91 | 11.23 | 2.93 |
| | B ₁ | 7.59 | 34.06 | 10.41 | 3.26 |
| | B ₂ | 7.27 | 31.92 | 9.94 | 3.21 |
| | B/C ₁ | 7.04 | 30.75 | 9.76 | 3.31 |
| | B/C ₂ | 5.33 | 27.37 | 6.99 | |
| VIII | Λ ₁ | 4.27 | 28.31 | 5.21 | 5.42 |
| | (B) ₁ /C | 3.45 | 25.75 | 4.11 | 6.27 |
| | (B) ₂ /C | 2.69 | 23.09 | 3.09 | 7.48 |
| | R ₁ | 5.70 | 139.85 | 6.24 | 22.33 |
| | R ₂ | 48.04 | 313.70 | 62.25 | 5.06 |

TABLA V (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | SiO ₂ ----- R ₂ O ₃ | SiO ₂ ----- Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ ----- Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ ----- Fe ₂ O ₃ |
|--------|--------------------------------|--|---|---|---|
| IX | A | 4.22 | 19.47 | 5.56 | 3.49 |
| | (B)/C ₁ | 4.12 | 19.93 | 5.36 | 3.71 |
| | C ₁ | 3.84 | 15.06 | 5.32 | 2.84 |
| | R ₁ | 3.37 | 12.78 | 4.80 | 2.60 |
| | R ₂ | 6.75 | 112.40 | 7.23 | 15.48 |
| | R ₃ | 8.68 | 14.58 | 9.36 | 15.67 |
| X | A ₁ | 6.69 | 39.92 | 8.39 | 4.75 |
| | (B) | 4.83 | 25.65 | 6.18 | 4.14 |
| | (B) ₁ /C | 4.04 | 22.10 | 5.12 | 4.31 |
| | (B) ₂ /C | 3.97 | 18.28 | 5.32 | 3.43 |
| | (B) ₃ /C | 4.14 | 21.57 | 5.34 | 4.03 |
| | C ₁ | 5.39 | 26.57 | 7.10 | 3.73 |
| XI | A ₀ +A ₁ | 1.09 | 1.96 | 2.52 | 0.77 |
| | A ₁ | 0.69 | 1.32 | 3.94 | 0.33 |
| | A/(B) | 0.58 | 0.81 | 2.12 | 0.38 |
| | (B) | 0.63 | 0.81 | 3.08 | 0.27 |
| | (B) | 0.45 | 0.71 | 1.25 | 0.56 |
| | R | 0.50 | 0.64 | 2.40 | 0.27 |
| XII | A ₁₋₁ | 5.77 | 27.13 | 7.57 | 3.59 |
| | A ₁₋₂ | 5.52 | 26.08 | 7.28 | 3.59 |
| | C ₁ | 7.50 | 30.44 | 11.55 | 2.65 |
| | R ₁ | 15.69 | 66.66 | 20.50 | 3.13 |
| | R ₂ | - - | - - | - - | - - |
| XIII | Ap | 5.85 | 33.21 | 7.61 | 4.36 |
| | Ap/B | 5.71 | 27.52 | 7.64 | 3.57 |
| | B/Ca | 5.61 | 26.58 | 7.68 | 3.45 |
| | C/Ca | 4.90 | 27.89 | 6.37 | 4.37 |
| XIV | Ap ₁ | 5.10 | 24.72 | 6.86 | 3.59 |
| | Ap ₂ | 5.11 | 24.31 | 6.90 | 3.51 |
| | B/Ca ₁ | 4.87 | 22.28 | 6.63 | 3.35 |
| | B/Ca ₂ | 5.28 | 22.92 | 7.28 | 3.15 |
| XV | A ₁ | 15.61 | 178.72 | 18.61 | 9.56 |
| | A ₂ | 20.91 | 237.88 | 24.76 | 9.56 |
| | A/B | 17.36 | 170.26 | 20.85 | 8.12 |
| | B ₂ | 9.43 | 53.80 | 12.06 | 4.47 |
| | B ₃ | 12.64 | 67.57 | 16.77 | 4.04 |
| | C/Ca | 15.88 | 120.59 | 19.50 | 6.21 |
| | C ₁ | 17.03 | 130.91 | 21.36 | 0.00 |

TABLA V (continuación)

| Perfil | Hori- zonte | SiO ₂ | SiO ₂ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ |
|--------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | <u>R₂O₃</u> | <u>Fe₂O₃</u> | <u>Al₂O₃</u> | <u>Fe₂O₃</u> |
| XVI | Ap | 40.60 | 144.61 | 61.22 | 2.37 |
| | A/B | 29.74 | 104.18 | 46.34 | 2.24 |
| | B ₂ | 16.04 | 52.40 | 24.10 | 2.18 |
| | B ₃ -1 | 52.91 | 177.17 | 88.09 | 2.02 |
| | B ₃ -2 | 58.46 | 139.46 | 112.38 | 1.24 |
| | C/Ca | 102.63 | 277.57 | 165.04 | 1.66 |
| XVII | Ap | 18.38 | 108.40 | 23.27 | 4.62 |
| | B ₂ | 11.13 | 56.72 | 14.44 | 3.92 |
| | B ₃ | 22.21 | 151.57 | 27.25 | 5.56 |
| | C/Ca | 26.68 | 143.17 | 35.79 | 4.00 |
| XVIII | Ap | 41.31 | 246.54 | 56.69 | 4.37 |
| | Bg ₁ | 15.87 | 160.71 | 18.99 | 8.48 |
| | Bg ₂ -1 | 10.83 | 53.51 | 14.52 | 3.68 |
| | Bg ₂ -2 | 9.17 | 47.31 | 11.96 | 3.96 |
| | B/Ca | 8.33 | 41.86 | 11.07 | 3.78 |
| | D | 7.90 | 40.97 | 10.51 | 3.90 |
| XIX | Ap ₁ | 21.56 | 142.69 | 28.06 | 5.11 |
| | Ap ₂ | 21.95 | 150.52 | 29.04 | 5.20 |
| | B ₁ -1 | 20.23 | 147.58 | 26.11 | 5.64 |
| | B ₁ -2 | 18.16 | 114.36 | 24.19 | 4.72 |
| | B ₂ g | 12.64 | 90.95 | 15.62 | 5.81 |
| | Bg/Ca | 13.80 | 101.16 | 17.21 | 5.89 |
| XX | Ap ₁ | 34.17 | 359.14 | 41.51 | 8.87 |
| | Ap ₂ | 33.55 | 332.59 | 40.15 | 8.24 |
| | g ₁ | 27.92 | 300.44 | 32.51 | 9.23 |
| | g ₂ -1 | 8.21 | 65.48 | 9.77 | 6.71 |
| | g ₂ -2 | 9.06 | 82.15 | 10.73 | 7.65 |

3.4 - El hierro y el análisis mecánico de los suelos

El contenido en hierro en las diversas fracciones mecánicas de los suelos y la composición granulométrica de estos puede proporcionar una ayuda eficaz en los problemas planteados acerca del conocimiento de la evolución del citado elemento en las formaciones edáficas que se estudian. En efecto, de un lado se sabe que el análisis mecánico revela la naturaleza e intensidad de la alteración del material originario y el desplazamiento de los productos resultantes (Hoyos, 1964; Duchaufour, 1965); de otro, existen datos que muestran ciertas relaciones del hierro con diversos componentes del suelo (Swenson y Riecken, 1955).

En el diagrama triangular de la fig. 6 se han representado los resultados de los análisis mecánicos contenidos en las tablas VI a XV correspondientes a un perfil por cada uno de los grupos de suelos que se estudian. Dichos resultados permiten establecer las siguientes clases texturales conforme al citado diagrama, atendiendo sólo al horizonte superior.

| Toxtura | Suelos |
|-----------|--------------------------------|
| Arcillosa | T.N.A.; S.M.V.; S.P.R.t.; REN. |
| Franca | S.R.T.; S.R.M.L.; T.P.M. |
| Limosa | T.P.F. |
| Arenosa | R.a.; S.P.L.g. |

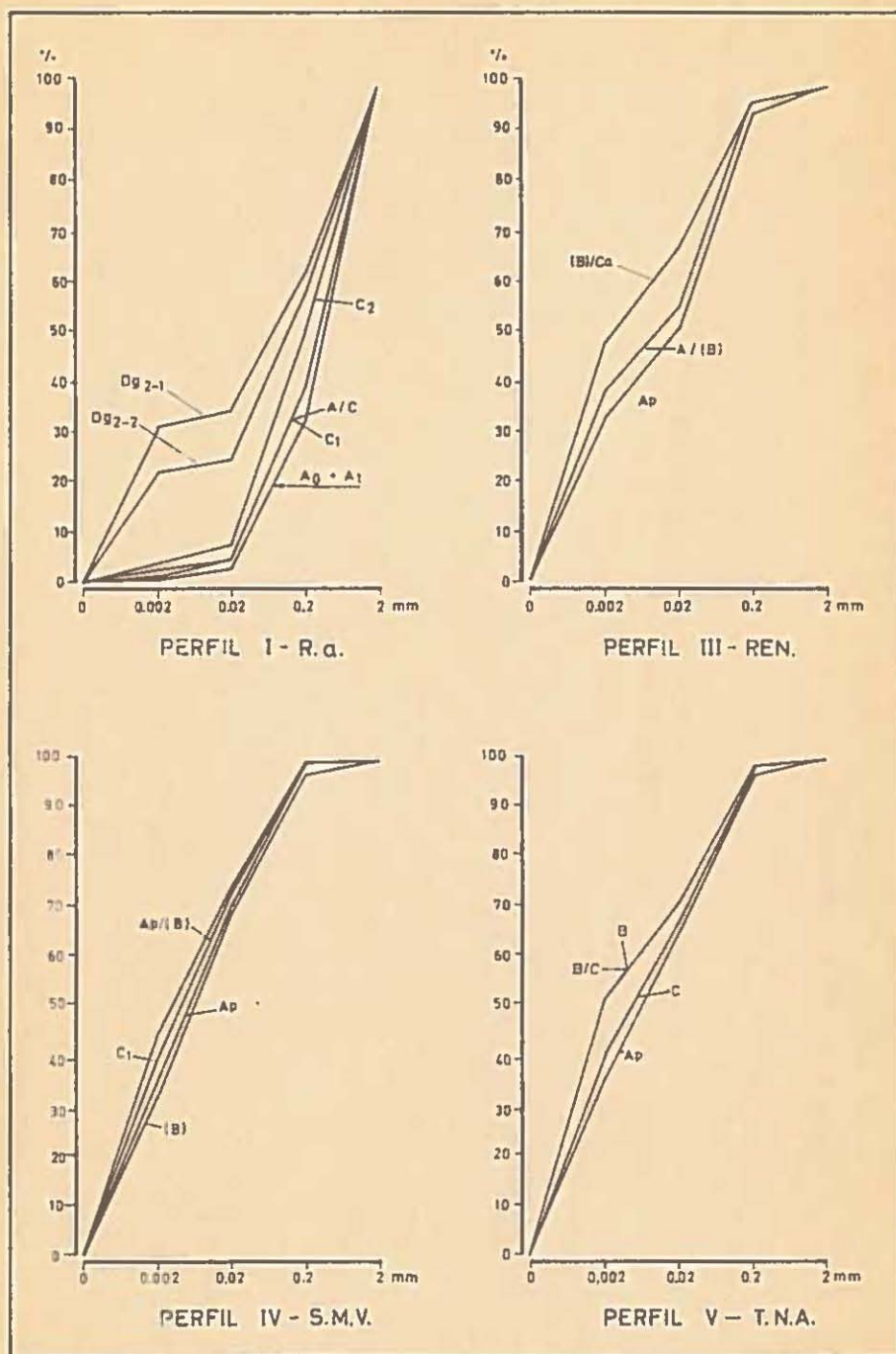


Fig. 7.- Reprerentacion gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos.

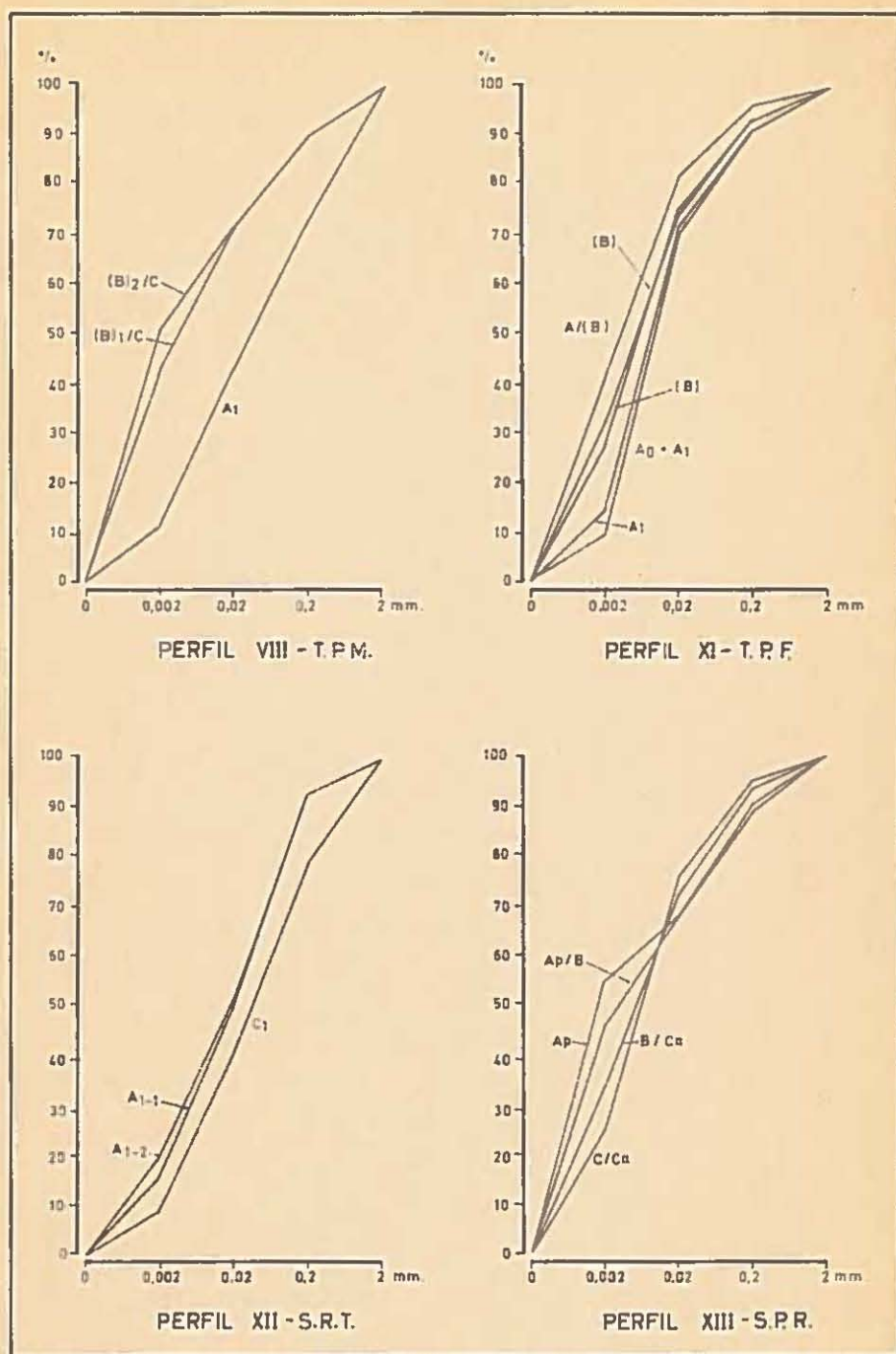


Fig. 8.- Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos.

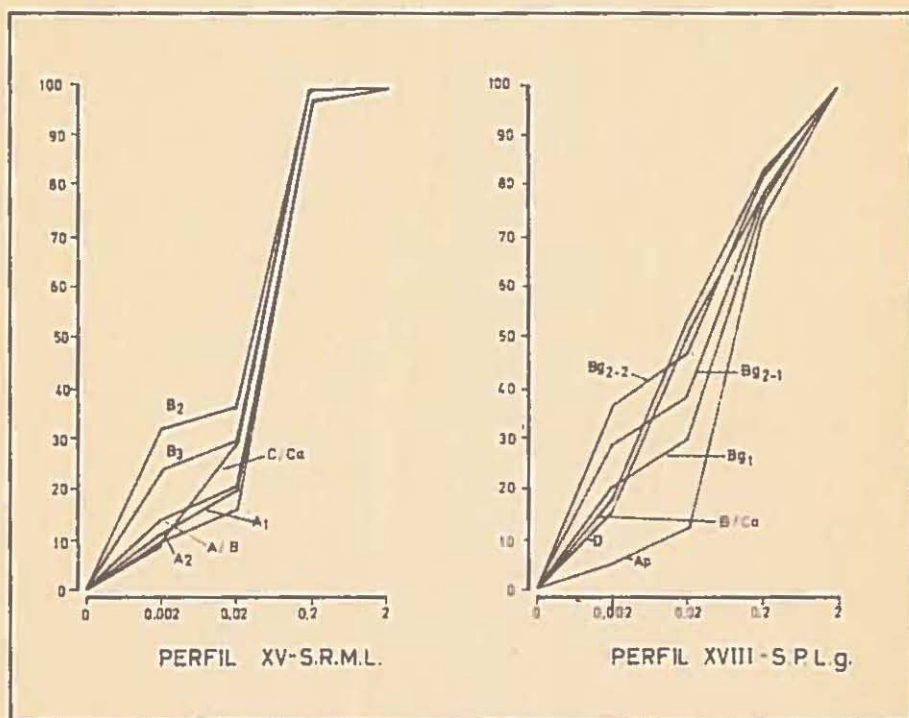


Fig. 9.- Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánico

Desde el punto de vista de la dinámica de los suelos, las variaciones texturales con la profundidad son de gran importancia en la interpretación de la génesis y clasificación de los mismos, así como en otras cuestiones de interés práctico. Estas variaciones pueden apreciarse en las citadas tablas VI a XV y en las figs. 7 a 9.

Los suelos arcillosos en superficie no muestran fuertes cambios texturales con la profundidad, en especial el suelo margoso vórtico y la tierra negra andaluza. En el perfil de rendsina existe un cierto aumento de arcilla con la profundidad y en el de suelo pardo rojizo de terraza una disminución más acusada en esta misma fracción.

En los suelos de textura equilibrada, el suelo rojo mediterráneo lavado muestra una curva de composición mecánica en la que se aprecia manifiesta iluviación de arcilla en los horizontes subsuperficiales. Una iluviación igualmente patente, pero distinta, presenta la tierra parda meridional. Por el contrario, la textura del suelo rojo terrificado varía poco con la profundidad (figs. 8 y 9).

La tierra parda ferrítica, limosa en superficie, es de textura más arcillosa en profundidad (fig. 8). Finalmente, el ranker arenoso revela una discontinuidad litológica en profundidad que semeja un lavado de arcilla como en el suelo pardo lavado con pseudogley, que es en superficie arenoso (figs. 7 y 9).

En resumen, los perfiles considerados muestran marcadas diferencias texturales que ponen de manifiesto la naturaleza de los distintos materiales de partida (margas, calizas margosas, calizas duras, areniscas calizas, pizarras, etc.), la intensidad de la alteración química y la omigración de coloides, al mismo tiempo que hacen sospechar en algunos casos la existencia de aportes extraños al material subyacente (suelo pardo lavado con pseudogloy, rankor arenoso) y en otros fenómenos de erosión (suelo pardo rojizo de terraza). Estas y otras circunstancias serán comentadas a la luz de los datos correspondientes a las determinaciones analíticas del hierro en las distintas fracciones mecánicas y su variación con la profundidad.

En las arcillas de los suelos, - constituidas principalmente por minerales secundarios de neosíntesis odáfica o heredados del material original -, se ha comprobado que el máximo contenido en hierro, antes de iniciarse la formación de separaciones ferruginosas, es de un 12% para la caolinita (D'Hoore et al., 1954). En la illita el hierro puede alcanzar este valor, mientras que en la montmorillonita la saturación se obtiene con contenidos más bajos (Page y Whittig, 1961). Teniendo presente estos datos y los resultados contenidos en las tablas VI a XV, las arcillas de los suelos estudiados pueden agruparse, atendiendo al valor medio en % Fe_2O_3 , en las siguientes clases:

Contenidos en Fe_2O_3 en las fracciones arcilla ($<0.002\text{mm}$)

| % Fe_2O_3 total | Suelos |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| <6 | R.a. |
| 6 - 9 | T.P.M.; T.N.A.; S.M.V.; REN. |
| 9 - 12 | S.P.L.g.; S.R.M.L.; S.P.R.t.; S.R.T. |
| >50 | T.P.F. |

Las arcillas del ranker arenoso contienen relativamente poco hierro, menos del 6%; las de los suelos calizos arcillosos (tierra negra andaluza, suelo margoso vértico y rendsina) y las de la tierra parda meridional se encuentran en una situación media (6 a 9%), mientras que las del suelo pardo lavado con pseudogley, suelo rojo mediterráneo lavado, suelo pardo rojizo de terraza y las del suelo rojo terrificado, contienen cantidades relativamente altas (9 a 12%). Por último, las arcillas de la tierra parda ferrítica se comportan de una manera extrema (más de 50 ~~%~~ de Fe_2O_3).

Los valores medios del contenido en % Fe_2O_3 en las fracciones limo varían desde 1.26% en el ranker arenoso a 5.7% en el suelo margoso vértico, alcanzando excepcionalmente la cifra de 55.9% en la tierra parda ferrítica. Con los valores correspondientes pueden hacerse las siguientes clases convencionales:

 Contenidos en % Fe_2O_3 en las fracciones limo

| % Fe_2O_3 | Suelos |
|---------------------------|--|
| 1 - 3 | R.a.; REN.; S.P.L.g.; S.R.M.L.; T.N.A. |
| 3 - 5 | S.P.R.t. |
| 5 - 7 | T.P.M.; S.R.T.; S.M.V. |
| 55 | T.P.F. |

Esta ordenación de los suelos muestra algunas diferencias importantes con respecto a la establecida atendiendo a los valores medios de hierro en las arcillas. En efecto, en la clase con los intervalos más bajos, junto al ranker arenoso, rendsina y tierra negra andaluza, suelos jóvenes o de mediano desarrollo, con poco o moderado contenido en hierro en la fracción arcilla, se encuentra el suelo pardo lavado con pseudogleyización y el suelo rojo mediterráneo lavado, cuyas arcillas considerábamos de las más ferruginosas. Por el contrario, el suelo rojo terrificado, sobre calizas cambrianas y la tierra parda ferrítica en otro orden de valores, presentan las más altas proporciones de hierro total en las fracciones arcilla y limo. Los limos de la tierra parda meridional y del suelo margoso vértico, que contienen 5 - 7 % de Fe_2O_3 , no difieren mucho en este sentido de las arcillas correspondientes.

Con objeto de conocer la relación entre el

contenido en hierro en las arcillas y en los limos, se han calculado las razones % Fe_2O_3 arcilla/limo (Fe A/L), encontrándose los siguientes resultados:

| % Fe_2O_3 arcilla (A) / % Fe_2O_3 limo (L) | |
|--|--------------------------|
| Fe A/L | Suelos |
| 1 | T.P.F. |
| 1 - 2 | S.M.V.; T.P.M.; S.P.R.t. |
| 2 - 4 | T.N.A.; REN.; S.R.T. |
| 4 - 5 | R.a.; S.R.M.L.; S.P.L.g. |

A nuestro juicio, esta ordenación viene a reforzar lo indicado esquemáticamente hasta ahora acerca del origen y dinámica del hierro en los suelos y en las fracciones. Al mismo tiempo muestra la importancia de un microesqueleto mineral fundamentalmente silíceo y de una textura franca o arenosa en aquellos suelos con gran movilización de hierro, y gran adsorción de éste en la arcilla. Asimismo dichos esqueleto mineral y texturas convienen para que existan procesos de rubefacción o formación de concreciones ferruginosas.

Las arenas finas en los suelos estudiados tienen en general contenidos en hierro menores que los limos y arcillas correspondientes, siendo más pequeñas las diferencias en el perfil de tierra parda meridional y en el suelo rojo terrificado. Como ha sido expuesto,

el primero de estos suelos (T.P.M.) mostraba una relación Fe A/L baja (1 - 2), y ambos fueron clasificados en la clase con 5 - 7% en la fracción limo. Los restantes suelos contienen por lo general menos de 1% como valor medio de Fe_2O_3 en la fracción arena fina de los distintos horizontes.

Por último, como puede apreciarse en las tablas correspondientes ya citadas, las arenas gruesas contienen en conjunto más hierro que las finas, presentando los más altos contenidos las de los perfiles de tierra parda ferrítica, suelo margoso vértico y suelo rojo terrificado (5 a 7%); las fracciones gruesas de los restantes suelos contienen de 2 a 0.3% de Fe_2O_3 . Como ocurría en otras fracciones, las arenas del perfil de tierra parda ferrítica son extraordinariamente ferruginosas (20 - 36%).

Sin considerar este tipo particular de suelo, puede decirse que para un conjunto de nueve perfiles distintos con diversos horizontes, los contenidos medios de Fe_2O_3 en las fracciones mecánicas son:

Contenidos medios en % Fe_2O_3 en las distintas fracciones de los suelos estudiados

| % Fe_2O_3 | Fracciones | | |
|---------------------------|--------------|--------------|----------------|
| 9.0 | Arcilla | <0.002 | mm \emptyset |
| 3.0 | Limo | 0.002 - 0.02 | mm \emptyset |
| 1.6 | Arena fina | 0.02 - 0.2 | mm \emptyset |
| 2.7 | Arena gruesa | 0.2 - 2.0 | mm \emptyset |

Un conocimiento más completo de la dinámica del hierro en los suelos puede alcanzarse estudiando el contenido en Fe_2O_3 en las fracciones mecánicas en los distintos horizontes. Los datos correspondientes están recogidos en las citadas tablas VI a XV; en las figuras 10 a 12 se han representado las variaciones con la profundidad al mismo tiempo que se indica la naturaleza de los horizontes de cada perfil.

En primer lugar, en el ranker arenoso el contenido en hierro de la arcilla disminuye casi regularmente desde 6.4% en el horizonte superior hasta 4.2% a 75 - 90 cms; a partir de aquí aumenta a 9.5%. Frente a esta variación puede destacarse el contenido de hierro prácticamente constante con la profundidad en las arcillas de rendsina y suelo margoso vértico. Las arcillas de la tierra negra andaluza muestran sin embargo mayor contenido en hierro (9.0%) en los horizontes de 0 a 50 cms, que en el de 50 a 90 cms (6.5%), alcanzando nuevamente en profundidad la proporción de 9.0%.

En el suelo rojo terrificado el contenido en hierro en las arcillas disminuye de 12% en el horizonte superior a 10.5% en el de 30 a 60 cms, aumentando posteriormente hasta 13% en el de 60 a 100 cms. Este comportamiento contrasta con el de las arcillas del suelo pardo rojizo de terraza cuyo contenido en hierro disminuye con la profundidad desde 9.5 a 8.0% de Fe_2O_3 , y en especial con las del suelo rojo mediterráneo lavado en las que de

9.5 a 10% de Fe_2O_3 en los horizontes superiores pasa a próximo a 12% en los 25 a 75 cms para bajar de nuevo hasta el 10% en el horizonte más profundo.

Similar variación, pero más marcada aún, muestran las arcillas del suelo pardo lavado con pseudogleyización, en las que el hierro aumenta progresivamente desde 9.0% en los 45 cms superiores a 13.0 % en el de 45 a 70; a partir de aquí disminuye hasta algo menos de 10.0%.

Por último la variación más grande en el contenido en Fe_2O_3 aparece en las arcillas de la tierra parda ferrítica con 28.0% de Fe_2O_3 en el horizonte superior (0 - 30 cms), 51.5% en el de 30 a 60 cms, 62.0% en el de 60 a 120 cms, y 58.0% en el de 120 a 150 cms.

En cuanto a la fracción limo se observa un grupo de suelos con igual variación en el contenido en Fe_2O_3 con la profundidad que en las arcillas (ranker arenoso, suelo pardo lavado de terraza, suelo rojo mediterráneo lavado, suelo rojo terrificado, suelo nargoso vértico y tierra negra andaluza). Una variación inversa a la de las arcillas tienen los contenidos en Fe_2O_3 en los limos del suelo rondsiniorme y de la tierra parda moridional, mientras que en los de la tierra parda ferrítica el contenido de Fe_2O_3 permanece constante. Por último, los limos del suelo pardo rojizo de terraza se diferencian tan sólo entre los 30 y 60 cms.

Las arenas en general tienen como caracterís-

tica más sobresaliente un homogéneo contenido en hierro a lo largo del perfil, excepto en el suelo margoso vórtico, suelo rojo terrificado y tierra parda ferrítica.

Podría destacarse que, teniendo presente el valor medio indicado de 9.0% de Fe_2O_3 en el conjunto de arcillas analizadas muy pocas muestras se apartan por encima de este valor, encontrándose contenidos de Fe_2O_3 máximos de 11.84 y 12.95% en las arcillas de los horizontes B_2 y B_{2g} del suelo rojo mediterráneo lavado y de suelo pardo lavado con pseudogley. En este aspecto, como se viene indicando, las arcillas de la tierra parda ferrítica constituyen una importante excepción.

La consideración conjunta de los datos del análisis mecánico, de los contenidos en hierro de cada fracción y del hierro en los suelos tamizados por 2 mm, permite conocer el aporte en hierro de cada fracción por 100 de Fe_2O_3 total del suelo. Estos datos están contenidos en las mencionadas tablas VI a XV, A partir de ellos puede apreciarse que los valores medios de los aportes de hierro de las fracciones arcilla en los distintos perfiles representa del 10 a 80 por cada 100 g del Fe_2O_3 total del suelo; el de los limos de 7.0 a 57.0%; el de la arena fina de 4.5 a 50.0% y el de la arena gruesa desde menos de 1 a 23.0%. Puede asimismo comprobarse que el aporte de las arcillas representa para la mayoría de los suelos entre el 50.0 y 80.0% del total de hierro. Esto ocurre precisamente en los suelos

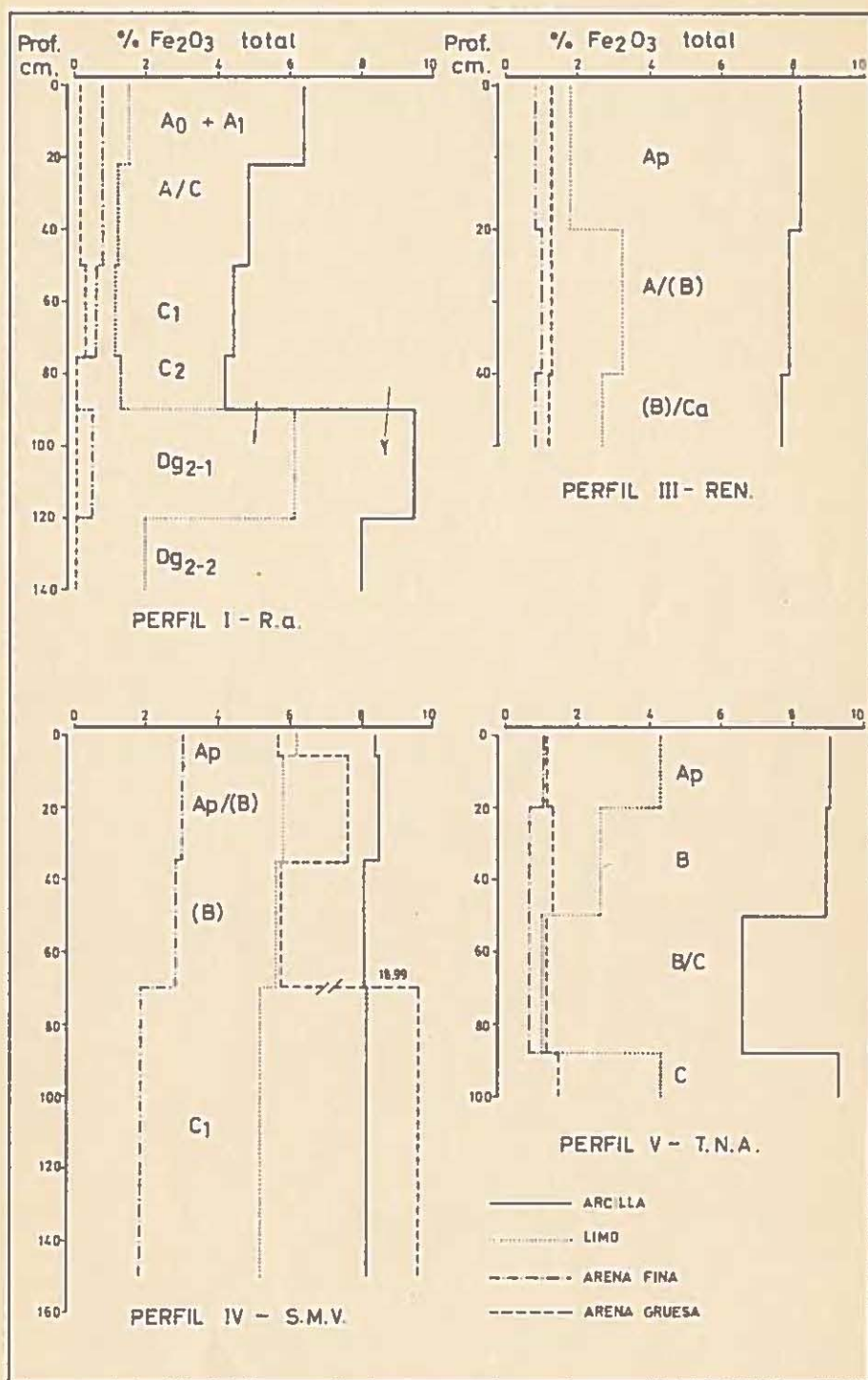


Fig. 10 - Contenido en Fe₂O₃ total en las fracciones mecánicas de los perfiles.

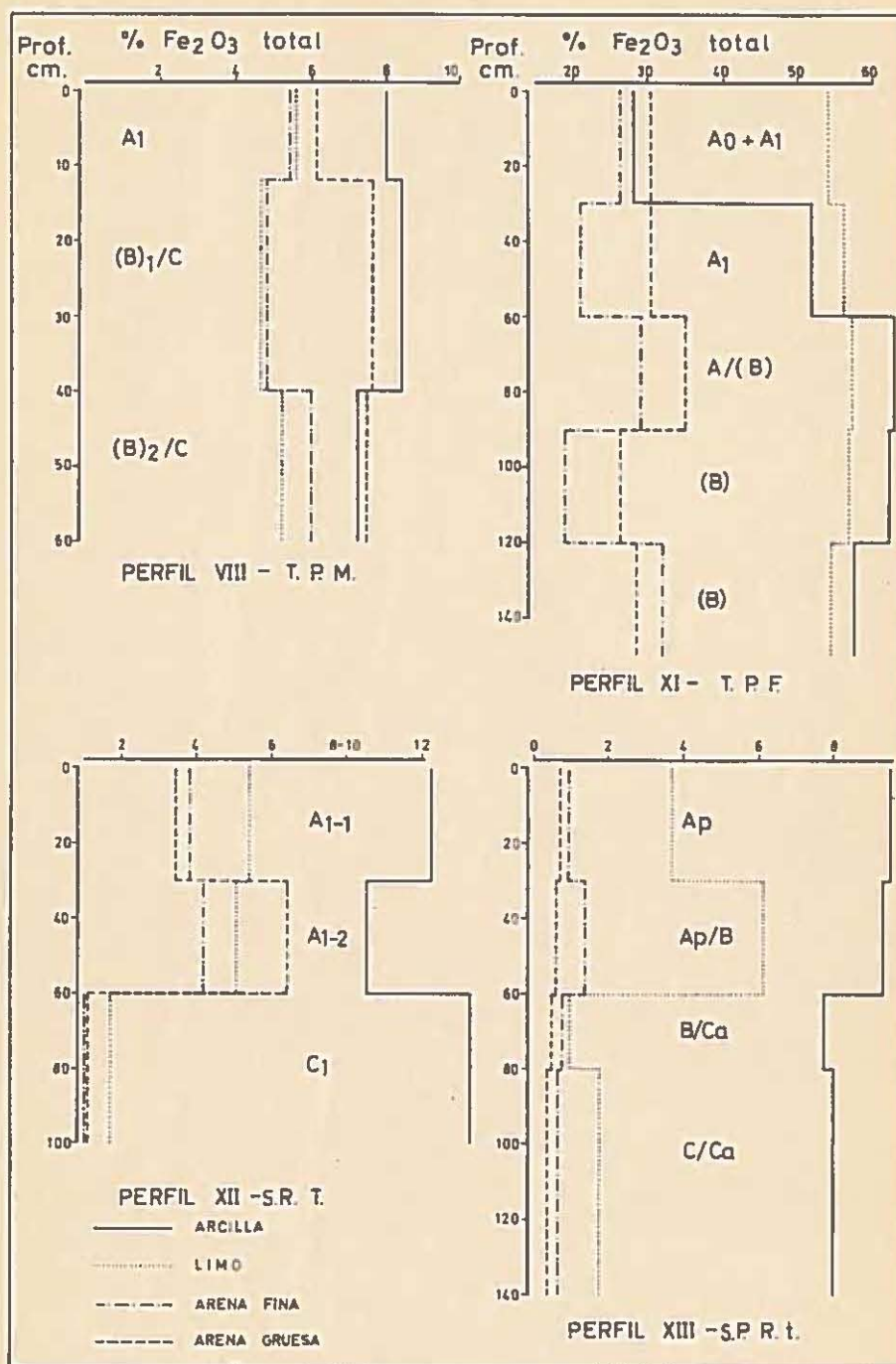


Fig. 11.- Contenido en Fe_2O_3 total en las fracciones mecánicas de los perfiles.

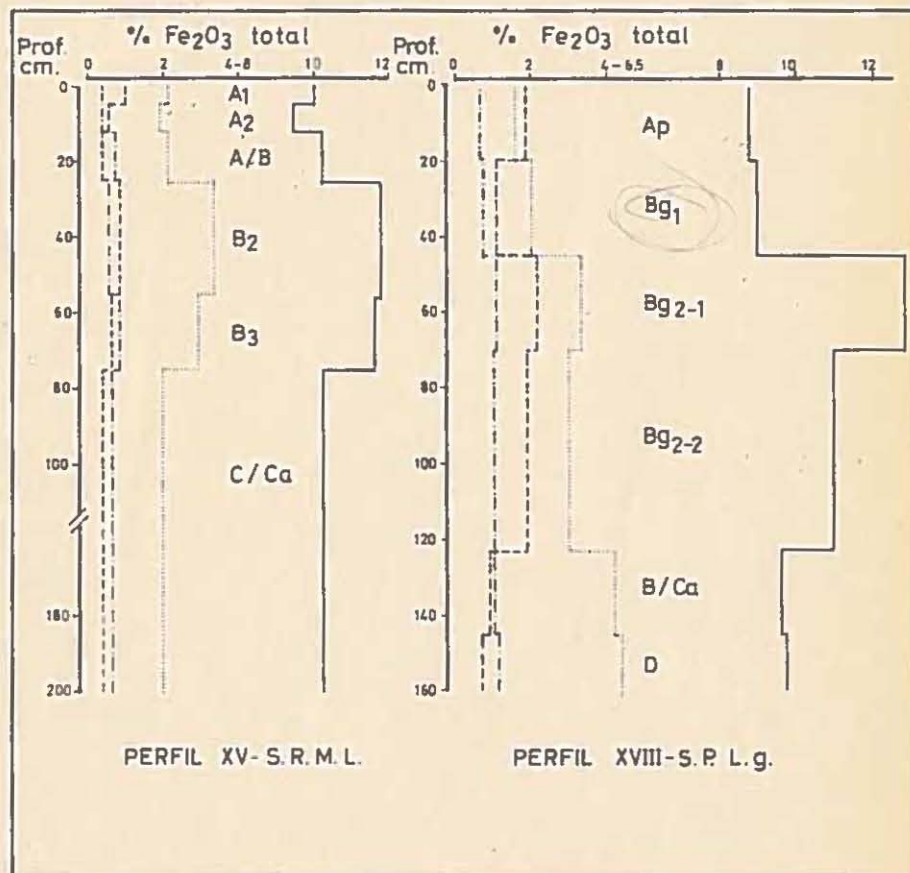


Fig. 12.- Contenido en Fe₂O₃ total en las fracciones mecánicas de los perfiles.

de textura arcillosa (REN.; T.N.A.; S.P.R.t.; S.M.V.) y en los francos o de textura equilibrada (S.R.M.L.; S.P.L.g.). En los restantes suelos dicho aporte representa: 10 a 20 % en el ranker arenoso; 20 a 30 % en la tierra parda ferrítica, de textura franca; 30 a 40 % en el suelo rojo terrificado, de textura franca, y 40 a 50 % en la tierra parda meridional, de textura arcillosa. Es decir, el aporte de la fracción arcilla al hierro total del suelo decrece conforme pasa la textura de los suelos de arcillosa a franca y a arenosa.

El aporte en hierro de los limos es de 50 a 60 % en el suelo de textura franca (T.P.F.); de 20 a 40 % en los de textura arcillosa (T.P.M.; S.M.V.) o franca (S.R.T.); y menos de 20 % en los arenosos (R.a.), en los francos (S.R.M.L.; S.P.L.g.) y en los arcillosos (REN.; S.P.R.t.; T.N.A.). Esto es, el aporte de los limos decrece con la textura en el orden francos > arcillosos > arenosos.

Consideraciones análogas pueden hacerse para las arenas en las que se aprecia una disminución del aporte en hierro de estas fracciones con el orden arenosos > francos > arcillosos, como es lógico teniendo en cuenta los datos indicados anteriormente acerca del contenido medio en hierro de las distintas fracciones, el hierro en los suelos y la textura. Estas consideraciones deberán tenerse en cuenta a la hora de interpretar los contenidos en hierro de los suelos y la distribución de

dicho elemento con la profundidad del perfil, en el caso de existir diferencias texturales muy marcadas.

Asímismo corresponden a la fracción arcilla los aportes máximos de hierro libre (tablas VI a XV), estando comprendidos entre 60 y 85 % en el S.P.L.g., S.R.M.L., S.P.R.t., T.P.M. y T.N.A. El hierro libre de las arcillas del suelo margoso vértico representa un aporte sólo del 40 al 60 %, y el de las arcillas de la tierra parda ferrítica de 20 a 50 %. En estos suelos los aportes de hierro libre en las distintas fracciones son del mismo orden que los de hierro total; también su variación con la profundidad es como la del hierro total en las distintas fracciones y horizontes.

Las fracciones limo y arena aportan poco hierro libre al suelo, destacando el del limo de la tierra parda meridional que supera el aporte de la arcilla, y el de la arena fina del ranker arenoso. En general puede decirse que la fracción limo supera a la arcilla en importancia en el aporte de hierro libre al total del hierro libre del suelo.

TABLA VI

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil I (R.a.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena . fina | limo | arci- lla | <0.02 mm Ø |
|--------------------------------|--|-----------------|-----------------|-------|--------------|---------------|
| A ₀ +A ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 0.11 | 0.75 | 1.44 | 6.40 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.05 | 0.09 | 0.47 | 2.50 | |
| | Análisis mecánico % | 66.93 | 30.47 | 1.72 | 0.88 | 2.60 |
| | Aporte Fe total | 19.32 | 59.53 | 6.53 | 14.62 | |
| | Aporte Fe libre | 36.67 | 30.00 | 8.89 | 24.44 | |
| A/C | % Fe ₂ O ₃ total | 0.15 | 0.78 | 1.18 | 4.80 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.02 | 0.10 | 0.36 | 1.92 | |
| | Análisis mecánico % | 62.87 | 34.13 | 1.83 | 1.16 | 2.99 |
| | Aporte Fe total | 21.46 | 60.73 | 5.02 | 12.78 | |
| | Aporte Fe libre | 17.33 | 45.33 | 8.00 | 29.33 | |
| C ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 0.24 | 0.69 | 1.16 | 4.37 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.05 | 0.11 | 0.40 | 1.77 | |
| | Análisis mecánico % | 61.88 | 34.35 | 2.13 | 1.65 | 3.78 |
| | Aporte Fe total | 30.70 | 49.17 | 5.19 | 14.94 | |
| | Aporte Fe libre | 29.24 | 35.85 | 7.55 | 27.36 | |
| C ₂ | % Fe ₂ O ₃ total | 0.14 | 0.18 | 1.27 | 4.19 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.05 | 0.09 | 0.33 | 1.71 | |
| | Análisis mecánico % | 49.92 | 44.23 | 3.16 | 2.68 | 5.84 |
| | Aporte Fe total | 23.18 | 26.49 | 13.24 | 37.09 | |
| | Aporte Fe libre | 20.83 | 32.50 | 8.33 | 38.33 | |
| Dg2-1 | % Fe ₂ O ₃ total | 0.11 | 0.54 | 6.12 | 9.45 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.04 | 0.30 | 4.26 | 4.05 | |
| | Análisis mecánico % | 38.09 | 27.36 | 3.45 | 31.09 | 34.54 |
| | Aporte Fe total | 1.26 | 4.43 | 6.32 | 87.99 | |
| | Aporte Fe libre | 1.00 | 5.45 | 9.78 | 83.76 | |
| Dg2-2 | % Fe ₂ O ₃ total | 0.08 | 0.15 | 1.94 | 7.98 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.02 | 0.13 | 0.87 | 3.27 | |
| | Análisis mecánico % | 40.46 | 34.74 | 2.45 | 22.34 | 24.79 |
| | Aporte Fe total | 1.67 | 2.72 | 2.46 | 93.15 | |
| | Aporte Fe libre | 0.99 | 5.60 | 2.61 | 90.80 | |

TABLA VII

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil III (REN.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arcí- lla | <0.02 mm Ø, |
|----------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|----------------|
| Ap | % Fe ₂ O ₃ total | 1.27 | 0.81 | 1.78 | 8.19 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.63 | 0.61 | 1.68 | 4.10 | |
| | Análisis mecánico % | 5.42 | 43.79 | 17.15 | 33.63 | 50.78 |
| | Aporte Fe total | 1.98 | 10.19 | 8.76 | 79.07 | |
| | Aporte Fe libre | 1.73 | 13.57 | 14.63 | 70.07 | |
| A/(B) | % Fe ₂ O ₃ total | 1.27 | 0.98 | 3.30 | 7.90 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.61 | 0.79 | 2.93 | 7.31 | |
| | Análisis mecánico % | 4.83 | 40.23 | 16.74 | 38.20 | 54.94 |
| | Aporte Fe total | 1.51 | 9.79 | 13.71 | 74.98 | |
| | Aporte Fe libre | 0.80 | 8.76 | 13.50 | 76.94 | |
| (B)/Ca | % Fe ₂ O ₃ total | 1.25 | 0.79 | 2.33 | 7.73 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.77 | 0.70 | 1.74 | 4.01 | |
| | Análisis mecánico % | 3.81 | 30.37 | 17.79 | 48.02 | 65.81 |
| | Aporte Fe total | 1.09 | 5.44 | 9.38 | 84.10 | |
| | Aporte Fe libre | 1.17 | 8.60 | 12.47 | 77.75 | |

TABLA VIII

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil IV (S.M.V.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | 0.02 mm ϕ |
|----------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|-------------------|
| Ap | % Fe ₂ O ₃ total | 5.73 | 3.10 | 6.15 | 8.39 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.76 | 0.94 | 1.54 | 2.15 | |
| | Análisis mecánico % | 3.86 | 25.60 | 35.34 | 35.18 | 70.53 |
| | Aporte Fe total | 3.60 | 12.93 | 35.40 | 48.07 | |
| | Aporte Fe libre | 4.23 | 14.98 | 33.81 | 46.99 | |
| Ap/(B) | % Fe ₂ O ₃ total | 7.63 | 3.03 | 5.85 | 8.48 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.88 | 0.95 | 1.59 | 2.13 | |
| | Análisis mecánico % | 2.25 | 24.93 | 33.58 | 39.23 | 72.81 |
| | Aporte Fe total | 2.76 | 12.14 | 31.60 | 53.50 | |
| | Aporte Fe libre | 2.55 | 14.37 | 32.38 | 50.70 | |
| (B) | % Fe ₂ O ₃ total | 5.75 | 2.82 | 5.60 | 8.03 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.68 | 0.95 | 1.90 | 2.13 | |
| | Análisis mecánico % | 4.02 | 27.09 | 35.26 | 33.60 | 68.86 |
| | Aporte Fe total | 4.07 | 13.47 | 34.86 | 47.62 | |
| | Aporte Fe libre | 3.92 | 15.03 | 39.18 | 41.87 | |
| C ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 8.99 | 1.91 | 5.26 | 8.12 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 3.35 | 1.05 | 1.60 | 2.11 | |
| | Análisis mecánico % | 0.32 | 26.73 | 28.54 | 44.50 | 73.04 |
| | Aporte Fe total | 0.51 | 9.01 | 26.56 | 63.92 | |
| | Aporte Fe libre | 0.65 | 16.60 | 27.09 | 55.66 | |

TABLA IX

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil V (T.N.A.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | <0.02 mm Ø |
|----------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| Ap | % Fe ₂ O ₃ total | 1.15 | 1.08 | 4.32 | 9.01 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.15 | 0.68 | 2.12 | 3.24 | |
| | Análisis mecánico % | 2.87 | 32.27 | 28.95 | 35.90 | 64.85 |
| | Aporte Fe total | 0.68 | 7.15 | 25.71 | 66.46 | |
| | Aporte Fe libre | 1.63 | 10.79 | 30.26 | 57.32 | |
| B | % Fe ₂ O ₃ total | 1.34 | 0.63 | 2.62 | 8.91 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.34 | 0.66 | 1.73 | 3.31 | |
| | Análisis mecánico % | 1.91 | 26.86 | 19.61 | 51.60 | 71.21 |
| | Aporte Fe total | 0.49 | 3.18 | 9.68 | 86.64 | |
| | Aporte Fe libre | 1.16 | 7.54 | 15.12 | 76.18 | |
| B/C | % Fe ₂ O ₃ total | 1.27 | 0.64 | 1.00 | 6.55 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.27 | 0.64 | 1.00 | 3.69 | |
| | Análisis mecánico % | 1.77 | 27.47 | 19.05 | 51.71 | 70.76 |
| | Aporte Fe total | 0.58 | 4.66 | 5.03 | 89.72 | |
| | Aporte Fe libre | 0.96 | 7.66 | 8.27 | 83.10 | |
| C | % Fe ₂ O ₃ total | 1.51 | 1.51 | 4.35 | 9.32 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.53 | 0.40 | 1.37 | 2.46 | |
| | Análisis mecánico % | 3.42 | 30.96 | 25.28 | 40.33 | 65.61 |
| | Aporte Fe total | 0.97 | 8.68 | 20.45 | 69.90 | |
| | Aporte Fe libre | 1.22 | 8.38 | 23.38 | 67.03 | |

TABLA X

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil VIII (T.P.M.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | <0.02 mm Ø |
|--------------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| A ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 6.19 | 5.46 | 5.79 | 7.99 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.70 | 3.34 | 3.76 | 5.76 | |
| | Análisis mecánico % | 27.18 | 30.65 | 30.25 | 11.92 | 42.17 |
| | Aporte Fe total | 27.76 | 27.62 | 28.90 | 15.71 | |
| | Aporte Fe libre | 13.96 | 30.94 | 34.35 | 20.75 | |
| (B) _{1/C} | % Fe ₂ O ₃ total | 7.66 | 4.89 | 4.66 | 8.46 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 2.40 | 3.01 | 3.20 | 5.47 | |
| | Análisis mecánico % | 11.49 | 16.89 | 29.16 | 42.45 | 71.61 |
| | Aporte Fe total | 13.22 | 12.41 | 20.42 | 53.95 | |
| | Aporte Fe libre | 6.83 | 12.58 | 23.10 | 57.49 | |
| (B) _{2/C} | % Fe ₂ O ₃ total | 7.50 | 6.05 | 5.27 | 7.28 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 3.00 | 3.79 | 3.83 | 5.52 | |
| | Análisis mecánico % | 12.87 | 15.35 | 21.73 | 50.04 | 71.77 |
| | Aporte Fe total | 14.44 | 13.90 | 17.14 | 54.52 | |
| | Aporte Fe libre | 8.46 | 12.76 | 18.24 | 60.54 | |

TABLA XI

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil XI (T.P.F.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | 0.02 mm Ø |
|--------------------------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|--------------|
| A ₀ +A ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 30.52 | 26.26 | 54.74 | 28.02 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 4.06 | 9.19 | 18.37 | 11.32 | |
| | Análisis mecánico % | 9.74 | 21.43 | 59.46 | 9.39 | 68.85 |
| | Aporte Fe total | 6.78 | 12.85 | 74.35 | 6.01 | |
| | Aporte Fe libre | 2.75 | 13.72 | 76.12 | 7.41 | |
| A ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 30.78 | 21.12 | 56.04 | 51.67 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 4.14 | 12.00 | 17.13 | 14.72 | |
| | Análisis mecánico % | 9.89 | 19.29 | 55.60 | 15.21 | 70.81 |
| | Aporte Fe total | 6.60 | 8.83 | 67.54 | 17.03 | |
| | Aporte Fe libre | 2.82 | 15.98 | 65.74 | 15.45 | |
| A/(B) | % Fe ₂ O ₃ total | 35.86 | 29.18 | 57.15 | 62.65 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 4.65 | 10.04 | 15.14 | 16.97 | |
| | Análisis mecánico % | 4.56 | 13.97 | 40.43 | 41.04 | 81.47 |
| | Aporte Fe total | 2.99 | 7.47 | 42.37 | 47.15 | |
| | Aporte Fe libre | 1.44 | 9.54 | 41.62 | 47.36 | |
| (B) | % Fe ₂ O ₃ total | 26.82 | 19.26 | 56.92 | 62.35 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 5.50 | 10.07 | 19.32 | 18.37 | |
| | Análisis mecánico % | 8.68 | 17.89 | 41.40 | 32.02 | 73.42 |
| | Aporte Fe total | 4.72 | 6.99 | 47.80 | 40.49 | |
| | Aporte Fe libre | 2.95 | 11.15 | 49.50 | 36.40 | |
| (B) | % Fe ₂ O ₃ total | 28.65 | 32.81 | 54.94 | 57.82 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 5.44 | 10.64 | 15.61 | 18.62 | |
| | Análisis mecánico % | 8.09 | 16.44 | 47.87 | 27.60 | 75.47 |
| | Aporte Fe total | 4.64 | 10.79 | 52.63 | 31.93 | |
| | Aporte Fe libre | 2.97 | 11.82 | 50.49 | 34.72 | |

TABLA XII

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil XII (S.R.T.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | <0.02 mm ϕ |
|------------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|--------------------|
| A ₁₋₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 3.44 | 3.93 | 5.40 | 12.24 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 1.07 | 1.52 | 2.36 | 7.49 | |
| | Análisis mecánico % | 7.68 | 42.55 | 34.32 | 15.44 | 49.76 |
| | Aporte Fe total | 4.65 | 29.44 | 32.63 | 33.28 | |
| | Aporte Fe libre | 3.04 | 24.01 | 30.06 | 42.89 | |
| A ₁₋₂ | % Fe ₂ O ₃ total | 6.45 | 4.20 | 5.12 | 10.58 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 2.18 | 2.21 | 2.54 | 6.48 | |
| | Análisis mecánico % | 8.07 | 41.17 | 31.19 | 19.57 | 50.76 |
| | Aporte Fe total | 8.79 | 29.22 | 26.99 | 34.99 | |
| | Aporte Fe libre | 5.59 | 28.92 | 25.17 | 40.30 | |
| C ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 1.30 | 1.26 | 1.77 | 13.34 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.56 | 0.68 | 0.92 | 7.04 | |
| | Análisis mecánico % | 21.56 | 39.19 | 30.50 | 8.74 | 39.24 |
| | Aporte Fe total | 11.29 | 19.92 | 21.77 | 47.02 | |
| | Aporte Fe libre | 9.40 | 20.98 | 21.83 | 47.78 | |

TABLA XIII

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil XIII (S.P.R.t.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | <0.02 mm Ø |
|----------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| Ap | % Fe ₂ O ₃ total | 0.74 | 0.95 | 3.67 | 9.54 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.17 | 0.17 | 1.02 | 2.73 | |
| | Análisis mecánico % | 10.38 | 20.86 | 13.85 | 54.90 | 68.75 |
| | Aporte Fe total | 1.28 | 3.29 | 8.44 | 86.99 | |
| | Aporte Fe libre | 1.06 | 2.07 | 8.33 | 88.54 | |
| Ap/B | % Fe ₂ O ₃ total | 0.69 | 1.33 | 6.10 | 9.28 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.13 | 0.27 | 1.54 | 2.52 | |
| | Análisis mecánico % | 9.51 | 22.50 | 21.46 | 46.53 | 67.99 |
| | Aporte Fe total | 1.10 | 4.99 | 21.85 | 72.06 | |
| | Aporte Fe libre | 0.76 | 3.87 | 20.94 | 74.43 | |
| B/Ca | % Fe ₂ O ₃ total | 0.49 | 0.76 | 0.94 | 7.75 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.10 | 0.14 | 0.29 | 2.02 | |
| | Análisis mecánico % | 6.12 | 21.16 | 39.30 | 33.42 | 72.72 |
| | Aporte Fe total | 0.95 | 5.11 | 11.71 | 82.22 | |
| | Aporte Fe libre | 0.73 | 3.64 | 13.82 | 81.82 | |
| C/Ca | % Fe ₂ O ₃ total | 0.47 | 0.72 | 1.73 | 8.01 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.06 | 0.15 | 0.28 | 1.29 | |
| | Análisis mecánico % | 5.08 | 19.73 | 50.06 | 25.12 | 75.18 |
| | Aporte Fe total | 0.79 | 4.66 | 28.45 | 66.10 | |
| | Aporte Fe libre | 0.60 | 6.04 | 28.17 | 65.19 | |

TABLA XIV

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil XV (S.R.M.L.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | <0.02 mm ϕ |
|----------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|--------------------|
| A ₁ | % Fe ₂ O ₃ total | 1.04 | 0.41 | 2.02 | 10.14 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.24 | 0.02 | 0.72 | 3.38 | |
| | Análisis mecánico % | 0.60 | 80.06 | 7.84 | 11.49 | 19.33 |
| | Aporte Fe total | 0.36 | 19.79 | 9.53 | 70.34 | |
| | Aporte Fe libre | 0.22 | 3.47 | 12.16 | 84.16 | |
| A ₂ | % Fe ₂ O ₃ total | 0.61 | 0.41 | 1.97 | 9.65 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.23 | 0.08 | 0.46 | 3.02 | |
| | Análisis mecánico % | 0.23 | 83.87 | 6.71 | 9.19 | 15.90 |
| | Aporte Fe total | 0.07 | 25.22 | 9.68 | 65.03 | |
| | Aporte Fe libre | 0.01 | 17.84 | 8.76 | 73.77 | |
| A/B | % Fe ₂ O ₃ total | 0.46 | 0.73 | 2.13 | 10.24 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.30 | 0.10 | 0.55 | 3.51 | |
| | Análisis mecánico % | 0.34 | 79.46 | 6.48 | 13.72 | 20.20 |
| | Aporte Fe total | 0.90 | 8.46 | 6.54 | 66.09 | |
| | Aporte Fe libre | 0.17 | 13.21 | 6.02 | 80.60 | |
| B ₂ | % Fe ₂ O ₃ total | 0.89 | 0.61 | 3.40 | 11.84 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.15 | 0.07 | 0.51 | 4.15 | |
| | Análisis mecánico % | 0.19 | 62.72 | 5.32 | 31.77 | 37.09 |
| | Aporte Fe total | 0.05 | 8.85 | 4.18 | 86.92 | |
| | Aporte Fe libre | 0.02 | 3.17 | 1.94 | 94.87 | |
| B ₃ | % Fe ₂ O ₃ total | 0.67 | 0.81 | 2.94 | 11.69 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.09 | 0.06 | 0.51 | 3.35 | |
| | Análisis mecánico % | 0.64 | 70.22 | 5.25 | 23.88 | 29.13 |
| | Aporte Fe total | 0.11 | 16.17 | 4.38 | 79.33 | |
| | Aporte Fe libre | 0.07 | 4.83 | 3.10 | 91.99 | |
| C/Ca | % Fe ₂ O ₃ total | 0.47 | 0.71 | 2.00 | 10.32 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.16 | 0.10 | 0.54 | 2.61 | |
| | Análisis mecánico % | 2.65 | 68.43 | 18.65 | 10.27 | 28.92 |
| | Aporte Fe total | 0.62 | 25.17 | 19.32 | 54.89 | |
| | Aporte Fe libre | 0.91 | 15.42 | 22.90 | 60.77 | |

TABLA XV

Hierro total y libre en las distintas fracciones del análisis mecánico en el perfil XVIII (S.P.L.g.)

| Hori- zonte | Concepto | arena gruesa | arena fina | limo | arci- lla | <0.02 mm Ø |
|--------------------|--|-----------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| Ap 0-20 | % Fe ₂ O ₃ total | 1.83 | 0.61 | 1.61 | 8.83 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.20 | 0.15 | 0.52 | 3.02 | |
| | Análisis mecánico % | 27.21 | 60.28 | 7.41 | 5.09 | 12.50 |
| | Aporte Fe total | 34.73 | 25.66 | 8.30 | 31.31 | |
| | Aporte Fe libre | 16.07 | 26.79 | 11.31 | 45.83 | |
| Bg1 20-45 | % Fe ₂ O ₃ total | 1.11 | 0.66 | 1.96 | 9.06 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.20 | 0.17 | 0.64 | 3.62 | |
| | Análisis mecánico % | 24.82 | 45.84 | 8.86 | 20.47 | 29.33 |
| | Aporte Fe total | 10.55 | 11.59 | 6.68 | 71.18 | |
| | Aporte Fe libre | 5.40 | 8.42 | 6.15 | 80.02 | |
| Bg2-1 45-70 | % Fe ₂ O ₃ total | 2.19 | 1.17 | 3.30 | 12.95 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.23 | 0.26 | 1.16 | 3.31 | |
| | Análisis mecánico % | 21.62 | 40.56 | 9.26 | 28.55 | 37.81 |
| | Aporte Fe total | 9.55 | 9.58 | 6.18 | 74.69 | |
| | Aporte Fe libre | 0.17 | 13.21 | 6.02 | 80.60 | |
| Bg2-2 70-120 | % Fe ₂ O ₃ total | 1.92 | 1.02 | 3.06 | 11.11 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.29 | 0.26 | 0.34 | 2.76 | |
| | Análisis mecánico % | 17.05 | 36.45 | 8.94 | 36.75 | 46.69 |
| | Aporte Fe total | 6.33 | 7.20 | 5.30 | 81.17 | |
| | Aporte Fe libre | 4.03 | 7.81 | 2.47 | 85.69 | |
| B/Ca 120-145 | % Fe ₂ O ₃ total | 0.86 | 1.06 | 7.15 | 9.69 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.28 | 0.30 | 2.51 | 3.02 | |
| | Análisis mecánico % | 19.76 | 29.89 | 31.90 | 18.43 | 50.33 |
| | Aporte Fe total | 3.73 | 6.96 | 50.09 | 39.22 | |
| | Aporte Fe libre | 3.66 | 5.99 | 53.29 | 37.06 | |
| D R 57° 145-200 | % Fe ₂ O ₃ total | 0.79 | 1.13 | 7.33 | 9.79 | |
| | % Fe ₂ O ₃ libre | 0.22 | 0.31 | 2.22 | 3.20 | |
| | Análisis mecánico % | 16.81 | 31.82 | 34.59 | 16.78 | 51.39 |
| | Aporte Fe total | 2.85 | 7.71 | 54.27 | 35.17 | |
| | Aporte Fe libre | 2.57 | 6.87 | 53.30 | 37.27 | |

3.5 - Identificación de óxidos e hidróxidos de hierro en las arcillas por difracción de rayos X y análisis térmico diferencial

En diversas ocasiones se ha indicado que los óxidos e hidróxidos de hierro constituyen los productos finales más importantes de la evolución y concentración de este elemento en el suelo. Asimismo se han expuesto los resultados analíticos del hierro en las distintas fracciones mecánicas. Los comentarios llevan a la conclusión de que el hierro se encuentra fundamentalmente en las fracciones arcilla. Con objeto de identificar los óxidos e hidróxidos de hierro en estos materiales a continuación se exponen y comentan los resultados obtenidos por difracción de rayos X y análisis térmico diferencial (A.T.D.) en las fracciones de diámetro aparente 0.002 mm, tratadas con NaOH 5 N, de diez perfiles de suelos del conjunto que se estudia.

Perfil I - Ranker arenoso (R.a.)

La tabla XVI contiene los espaciados e intensidades correspondientes a las difracciones de rayos X de las arcillas tratadas del citado perfil. En la figura 13 se representan las curvas correspondientes del A.T.D. de donde se obtienen las temperaturas de los principales efectos endo y exotérmicos.

En el horizonte superior se identifica goethita por las líneas de difracción a 4.90 Å, 4.24 Å y 2.69 Å, y se confirma por un pequeño pico endotérmico en el

A.T.D. a 330°C.

En el horizonte de transición del suelo arenoso al sedimento villafranquiense existe goethita y lepidocrocita, esta última a juzgar por las difracciones a 6.28 Å, 3.33 Å y 1,56 Å, y por los efectos endotérmicos a 280 y 340°C.

Por último en el horizonte Dg₂₋₂ se encuentra la misma asociación de goethita y lepidocrocita, pero con mayor frecuencia de ambos componentes que en los horizontes anteriores.

Perfil III - Rendsina (REN.)

La tabla XVII contiene los datos de difracción de rayos X; la figura 13 contiene las curvas de A.T.D. con las temperaturas de los efectos endo y exotérmicos. Los datos indican una ausencia casi prácticamente total de óxidos e hidróxidos de hierro bien cristalizados en las arcillas de este perfil. No obstante, las líneas de intensidad débil y muy débil a 4.27 y 2.69 Å respectivamente corresponden a goethita. Asimismo se identifica pequeña proporción de hematite por las líneas de intensidad muy débil a 3.65 y 2.69 Å. El A.T.D. muestra un efecto endotérmico a 300°C correspondiente a goethita. En los horizontes más profundos no se encuentra hematite (A/(B) y (B)/Ca).

Perfil IV - Suelo margoso vórtico (S.M.V.)

En la tabla XVIII y en las curvas del A.T.D. (figura 13) se identifica goethita por las difracciones

próximas a 4.18, 2.67 y 1.56 Å y por el pico endotérmico próximo a 300°C. Asimismo se encuentran difracciones de gran nitidez a espaciados de 6.34 Å que deben corresponder a lepidocrocita.

Perfil V - Tierra negra andaluza (T.N.A.)

En los diagramas de rayos X (tabla XIX) se aprecia la existencia de goethita en la fracción fina del horizonte Ap por las líneas a 4.28 y 2.69 Å de intensidades débil y fuerte y se confirma por el efecto endotérmico a 310°C (figura 14). En el horizonte B existe junto a dicho mineral lepidocrocita, responsable de la difracción a 6.31 Å. Finalmente en profundidad (horizontes B/C y C) sólo se identifica goethita.

Perfil VIII - Tierra parda meridional (T.P.M.)

En las arcillas de este perfil los datos de difracción de rayos X y los de A.T.D. (tabla XX y figura 14) indican que en el horizonte A₁ existe pequeña proporción de hematites (líneas a 3.7, 2.6 y 2.53 Å), goethita (líneas a 4.15 y 2.66 Å y efecto endotérmico a 265°C).

En profundidad, horizontes (B)₁/C y (B)₂/C, sólo se aprecia goethita.

Perfil XI - Tierra parda ferrítica (T.P.F.)

En el horizonte A₀+A₁ de este perfil las líneas de difracción a 2.95, 2.51, 2.08 y 1.47 Å (tabla XXI) prueban la existencia de maghemita y las de 3.69, 2.68 y 2.51 Å, del mismo orden de intensidad que las anterior-

res, la de hematitos. Las curvas del A.T.D., alguna obtenida en atmósfera de nitrógeno (figura 17) muestran un exotérmico a 535°C que confirma la existencia de maghemita. Existe además goethita en menor proporción (línea a 4.19 Å).

En profundidad, horizontes A₁ y A/(B), disminuyen maghemita y hematitos y aumenta la proporción de goethita, la cual llega a ser dominante en el horizonte (B) inferior.

Perfil XII - Suelo rojo terrificado (S.R.T.)

En los datos de la tabla XXII, correspondiente a este perfil, se identifica goethita en las arcillas por las líneas a 4.15 y 2.70 Å, y hematitos por los de 3.67, 2.70 y 2.51 Å. En el A.T.D. (figura 14) el efecto exotérmico a 350°C corresponde a goethita.

En los horizontes más profundos A₁₋₂ y C₁ goethita es el mineral de hierro predominante en la fracción arcilla a juzgar por la intensidad de las líneas de difracción correspondientes y por el efecto exotérmico a 350°C.

Perfil XIII - Suelo pardo rojizo (S.P.R.t.)

En la tabla XXIII pueden apreciarse las líneas de difracción a 6.28, 3.30 y 2.45 Å, - cuyas intensidades disminuyen con la profundidad de los horizontes -, correspondientes a lepidocrocita, y líneas a 4.20 y 2.68 Å de goethita. El A.T.D. (figura 15) muestra un efecto endotérmico a 300°C y no aparece el exotérmico a 500°C

de lepidocrocita, posiblemente enmascarado por otro.

Perfil XV - Suelo rojo mediterráneo lavado (S.R.M.L.)

La tabla XXIV y la figura 15 contienen los datos de difracción de rayos X y del A.T.D. de las arcillas. Puede observarse que en todo el perfil existe goethita, - difracciones próximas a 4.18, 2.69 y 2.19 Å -, e indicios de hematites en los horizontes A₁ y A₂, - líneas a 3.67, 2,69 y 2.51 Å. En el A.T.D. aparece un endotérmico a 300°C que debe corresponder a goethita.

Perfil XVIII - Suelo pardo lavado de terraza (S.P.L.g.)

De los datos de difracción de rayos X y del A.T.D. (tabla XXV, figura 16) se deduce la presencia de goethita en todo el perfil, en mayor proporción en el horizonte superficial y en los más profundos. Asimismo puede deducirse la existencia de lepidocrocita en todos los horizontes excepto en el superficial, por las líneas a 6.27 y 3.20 Å que son de mayor intensidad que las correspondientes a goethita. El A.T.D. muestra efectos endotérmicos a 300°C común a goethita y lepidocrocita ; el exotérmico a 600 - 700°C característico de lepidocrocita está enmascarado.

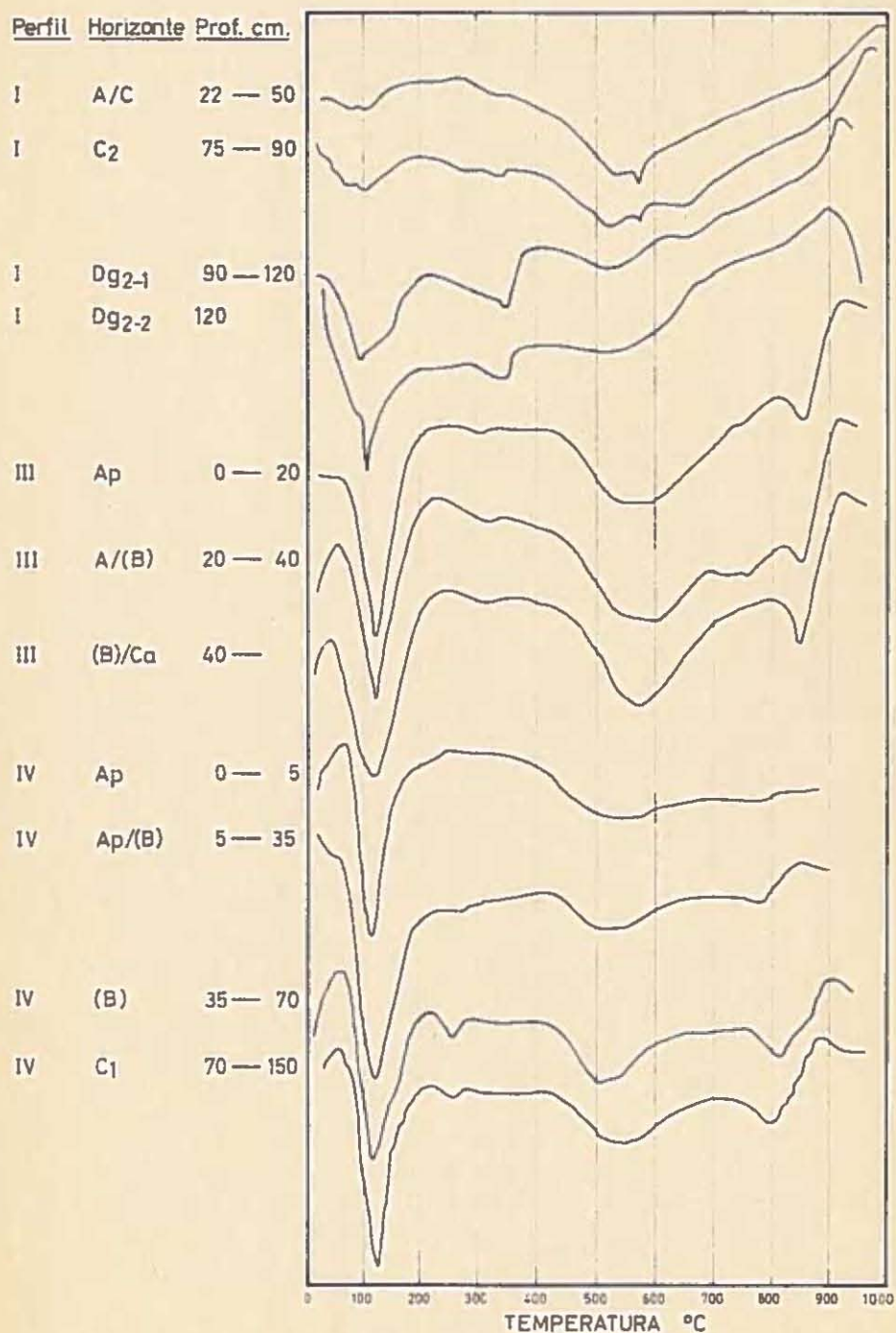


Fig. 13.- Diagramas de A.T.D. de la fracción arcilla tratada con NaOH 5N de los perfiles I (R.a.), III (REN) y IV (S.M.V.)

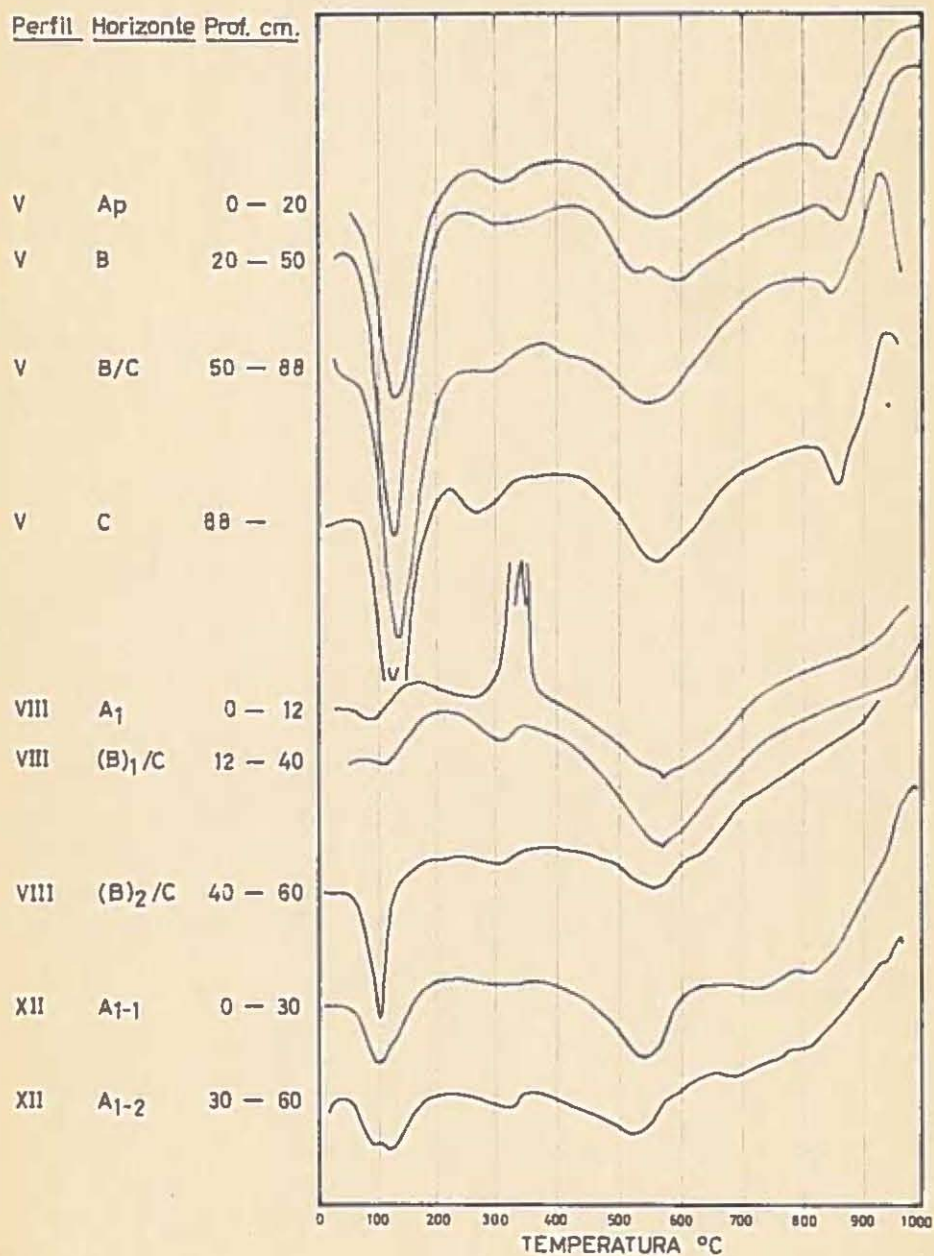


Fig. 14.- Diagramas de A.T.D. de la fracción arcilla tratada con NaOH 5N de los perfiles V (T.N.A.), VIII (T.P.M.) y XII (S.R.I.)

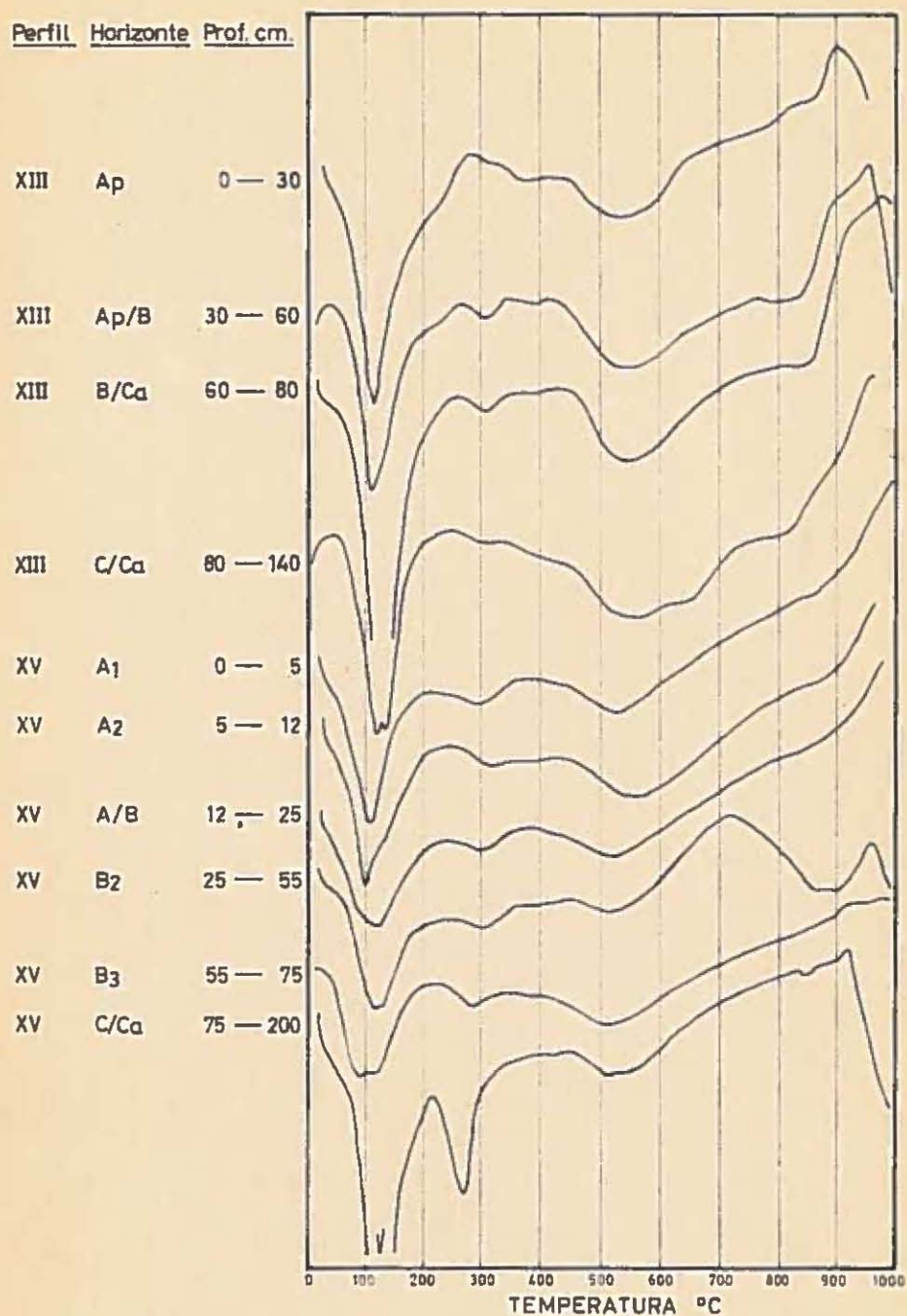


Fig.-15.- Diagramas de A.T.D. de la fracción arcilla tratada con NaOH 5N de los perfiles XIII (S.P.R.t.) y XV (S.R.M.t.)

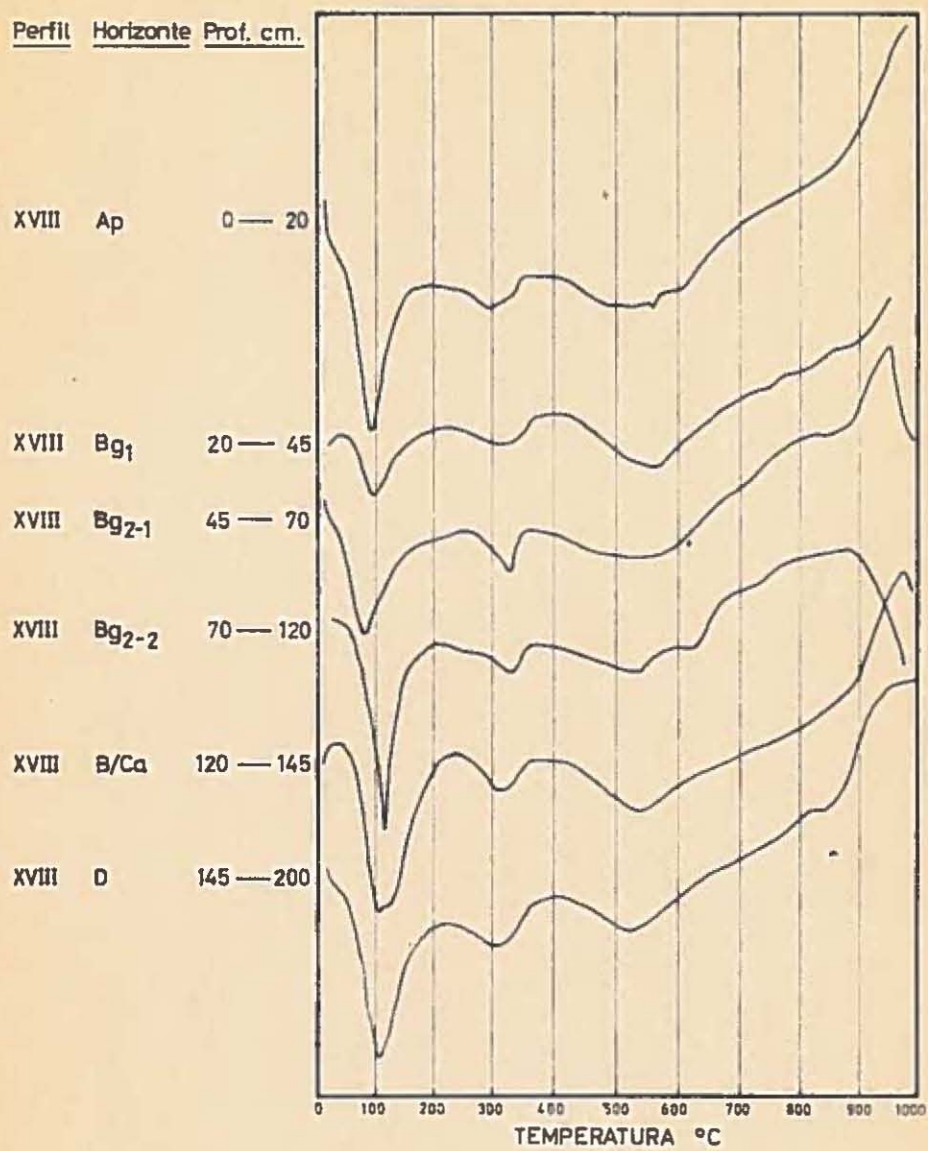


Fig. 16.- Diagramas de A.T.D. de la fracción arcilla tratada con NaOH 5N del perfil XVIII (S.P.I.g.)

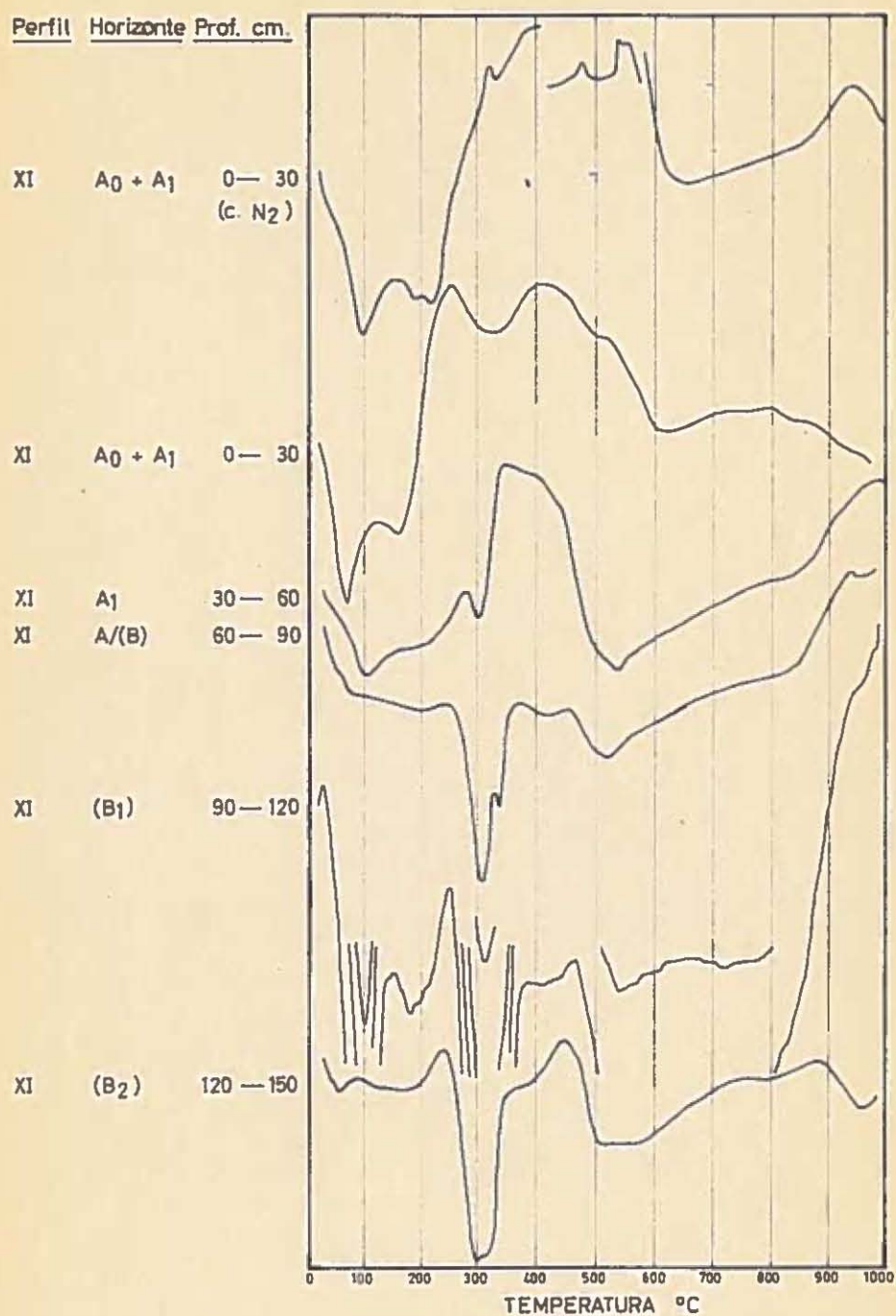


Fig. 17.- Diagramas de ATD de la fracción arcilla del perfil XI (I.P.F.)

TABLA XVI

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil I (R.a.)

| A/C | | C ₂ | | Dg ₂₋₂ | |
|-------|------|----------------|------|-------------------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 9.96 | D-M | 10.11 | D-M | 9.92 | D-M |
| 8.12 | D-M | 9.96 | D | 6.28 | F-mF |
| 7.12 | mD | 8.54 | D | 4.90 | D |
| 6.59 | mD | 7.16 | mD | 4.43 | M |
| 4.90 | mD | 6.28 | D-M | 4.15 | M |
| 4.48 | M | 4.93 | D | 3.91 | mD |
| 4.24 | F | 4.45 | M-F | 3.62 | mF |
| 3.65 | mD | 4.25 | F | 3.33 | F-mF |
| 3.47 | mD | 3.91 | mD | 3.19 | mD |
| 3.34 | mF | 3.60 | D | 2.98 | mD-D |
| 3.22 | mD-D | 3.44 | mD | 2.80 | D-M |
| 2.99 | mD | 3.33 | mF | 2.66 | D |
| 2.80 | mD | 3.23 | mD | 2.56 | F |
| 2.68 | mD | 2.95 | mD-D | 2.43 | D |
| 2.56 | D-M | 2.78 | D-M | 2.36 | mD |
| 2.44 | M | 2.66 | mD | 2.25 | mD |
| 2.36 | mD | 2.56 | M | 2.22 | D |
| 2.27 | M | 2.44 | M | 2.16 | mD |
| 2.22 | D-M | 2.36 | mD | 2.10 | M |
| 2.11 | M | 2.27 | D-M | 1.99 | D |
| 1.97 | M | 2.22 | D | 1.90 | D |
| 1.80 | F | 2.11 | D-M | 1.81 | D-M |
| 1.70 | | 1.98 | D | 1.74 | D |
| 1.66 | D | 1.81 | F | 1.69 | D |
| 1.65 | mD | 1.73 | mD | 1.57 | D |
| 1.53 | F | 1.71 | mD | 1.53 | D |
| 1.49 | mD | 1.66 | D-M | 1.49 | D-M |
| 1.44 | D | 1.65 | D | 1.44 | D-M |
| 1.40 | F | 1.56 | mD | 1.37 | M |
| 1.37 | F-mF | 1.53 | F | | |
| | | 1.49 | D | | |
| | | 1.44 | D | | |
| | | 1.38 | F | | |
| | | 1.37 | F-mF | | |

TABLA XVII

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil III (REN.)

| Δp | | $\Lambda/(B)$ | | $(B)/Ca$ | |
|------------|------|---------------|------|----------|-----|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 14.59 | D-M | 10.11 | M | 14.5 | D |
| 10.11 | M | 7.16 | mD | 10.04 | M |
| 8.32 | mD | 4.90 | D | 5.05 | D |
| 7.24 | D-mD | 4.45 | F | 4.51 | M-F |
| 5.76 | mD | 4.21 | D | 4.25 | D |
| 4.49 | F | 3.69 | mD | 3.51 | D-M |
| 4.27 | D | 3.47 | D | 3.35 | M-F |
| 4.05 | mD | 3.34 | M | 3.32 | F |
| 3.65 | mD | 3.30 | F | 3.22 | D |
| 3.35 | M-F | 3.23 | mD | 2.68 | mD |
| 3.32 | F | 2.96 | D | 2.57 | M-F |
| 3.18 | mD | 2.81 | D | 2.45 | D |
| 2.98 | mD | 2.67 | mD | 2.38 | D |
| 2.69 | mD | 2.56 | F-mF | 2.24 | mD |
| 2.57 | M-F | 2.43 | D-M | 2.13 | mD |
| 2.46 | D | 2.36 | D-M | 1.98 | mD |
| 2.38 | D | 2.23 | D | 1.89 | mD |
| 2.27 | mD | 2.11 | D | 1.81 | D |
| 2.13 | mD | 1.97 | M | 1.52 | mD |
| 1.99 | D | 1.80 | D | 1.50 | D-M |
| 1.81 | mD-D | 1.69 | D-M | 1.44 | mD |
| 1.54 | D | 1.65 | D | | |
| 1.50 | M | 1.59 | mD | | |
| | | 1.55 | mD | | |
| | | 1.52 | D | | |
| | | 1.49 | M | | |
| | | 1.44 | D | | |

TABLA XVIII

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil IV (S.M.V.)

| Ap | | Ap/(B) | | (B) | | C ₁ | |
|-------|------|--------|------|-------|------|----------------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 10.11 | M | 10.11 | M | 10.11 | M | 10.11 | M |
| 4.99 | mD | 7.12 | mD | 6.93 | mD | 4.99 | mD |
| 4.45 | F | 5.62 | mD | 6.34 | mD | 4.49 | F |
| 4.28 | D | 4.96 | mD | 4.90 | mD | 4.25 | D |
| 3.58 | D | 4.47 | F | 4.45 | F | 3.93 | mD |
| 3.33 | F-mF | 4.27 | D | 4.27 | D | 3.75 | mD |
| 3.20 | D-mD | 4.18 | mD | 4.09 | mD | 3.50 | D |
| 3.00 | mD | 3.86 | mD | 3.86 | mD | 3.34 | mF |
| 2.78 | mD | 3.60 | mD | 3.51 | D | 3.21 | mD |
| 2.56 | M-F | 3.51 | mD | 3.33 | F | 3.00 | mD-D |
| 2.45 | D | 3.34 | F-mF | 3.20 | mD | 2.58 | M-F |
| 2.39 | D | 3.20 | mD | 2.98 | mD-D | 2.46 | D |
| 2.27 | mD | 2.99 | mD | 2.86 | mD-D | 2.39 | D |
| 2.00 | mD | 2.85 | mD | 2.56 | F | 2.29 | mD |
| 1.56 | mD | 2.79 | mD | 2.45 | D-M | 2.24 | mD |
| 1.54 | mD | 2.67 | mD | 2.38 | D-M | 2.14 | mD |
| 1.50 | M | 2.57 | M-F | 2.25 | D | 1.82 | D |
| | | 2.45 | D | 2.09 | mD | 1.54 | D |
| | | 2.38 | D | 1.97 | D | 1.50 | D-M |
| | | 2.24 | mD | 1.81 | D-M | 1.46 | mD |
| | | 2.13 | mD | 1.69 | M | | |
| | | 1.82 | D | 1.64 | M | | |
| | | 1.55 | mD | 1.53 | D-M | | |
| | | 1.54 | D | 1.49 | M-F | | |
| | | 1.52 | mD | | | | |
| | | 1.50 | D-M | | | | |
| | | 1.45 | D | | | | |

TABLA XIX

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil V (T.N.A.)

| Ap | | B | | B/C | | C | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 10.10 | D-M | 12.05 | mD | 9.96 | M | 10.04 | M |
| 4.99 | D | 10.11 | M | 4.97 | D | 7.12 | mD |
| 4.49 | F | 7.16 | mD | 4.48 | F | 4.93 | mD |
| 4.28 | D | 6.31 | mD | 4.21 | D | 4.70 | D |
| 3.94 | mD | 4.99 | mD-D | 3.72 | D | 4.44 | F |
| 3.77 | mD | 4.48 | F | 3.50 | D-M | 4.20 | D |
| 3.54 | D-M | 4.28 | D | 3.35 | F | 3.82 | D |
| 3.37 | mF | 4.23 | D-M | 3.29 | mF | 3.50 | D |
| 3.23 | D(d.) | 3.89 | mD | 3.20 | D | 3.32 | F |
| 3.04 | mD-D | 3.75 | mD | 2.99 | D | 3.17 | mD |
| 2.90 | mD-D | 3.50 | D-M | 2.83 | D | 2.97 | D-M |
| 2.69 | F | 3.36 | F | 2.69 | mD | 2.81 | D |
| 2.57 | F | 3.33 | mF | 2.56 | F | 2.68 | D |
| 2.49 | D-M | 3.20 | mD | 2.43 | D-M | 2.56 | M-F |
| 2.39 | D-M | 3.01 | mD | 2.37 | D-M | 2.43 | D-M |
| 2.26 | D | 2.85 | mD | 2.25 | D | 2.37 | D-M |
| 2.14 | D-M | 2.81 | mD | 2.11 | D-M | 2.24 | D |
| 2.00 | M | 2.70 | mD | 1.98 | D-M | 2.12 | D |
| 1.90 | mD-D | 2.60 | M-F | 1.80 | D-M | 1.98 | D-M |
| 1.82 | D-M | 2.45 | D | 1.69 | D | 1.70 | D |
| 1.71 | D | 2.38 | D-M | 1.66 | D | 1.65 | D |
| 1.66 | D | 2.28 | D(d.) | 1.63 | D | 1.56 | D |
| 1.54 | D-M | 2.24 | D | 1.58 | mD | 1.53 | D-M |
| 1.50 | F | 2.12 | D-M | 1.53 | M | 1.50 | M |
| 1.45 | D | 2.04 | mD | 1.49 | M-F | 1.45 | D |
| 1.38 | D-M | 1.99 | dif. | 1.45 | D | | |
| 1.37 | M | 1.98 | " | 1.37 | D | | |
| | | 1.89 | mD | | | | |
| | | 1.82 | M | | | | |
| | | 1.76 | dif. | | | | |
| | | 1.72 | mD | | | | |
| | | 1.70 | mD | | | | |
| | | 1.67 | mD-D | | | | |
| | | 1.64 | mD | | | | |
| | | 1.60 | mD | | | | |
| | | 1.56 | mD | | | | |
| | | 1.55 | mD | | | | |
| | | 1.54 | M | | | | |

TABLA XX

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil VIII (T.P.M.)

| A ₁ | | (B) ₁ /C | | (B) ₂ /C | |
|----------------|-----|---------------------|------|---------------------|--------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 9.96 | D-M | 16.21 | F | 9.92 | M-F |
| 4.95 | M | 8.82 | mD | 4.94 | D |
| 4.46 | F | 5.05 | M | 4.43 | mF |
| 4.28 | D | 4.54 | M-F | 4.25 | mD |
| 4.15 | D | 4.25 | M | 4.13 | D |
| 3.83 | D | 3.80 | D | 3.89 | D |
| 3.70 | D | 3.39 | mF | 3.71 | D |
| 3.42 | D | 3.29 | M | 3.48 | D |
| 3.34 | mF | 3.03 | D-M | 3.33 | mF |
| 3.20 | D-M | 2.85 | D | 3.18 | D-M |
| 2.96 | D | 2.60 | M | 2.98 | D |
| 2.81 | D | 2.56 | M | 2.84 | mD-D |
| 2.65 | D | 2.49 | D | 2.78 | mD |
| 2.53 | F | 2.42 | D | 2.67 | D |
| 2.45 | D-M | 2.14 | D | 2.56 | F(dob) |
| 2.38 | D-M | 2.01 | M | 2.43 | D |
| 2.29 | mD | 1.97 | M | 2.37 | mD |
| 2.25 | mD | 1.55 | mD | 2.27 | mD |
| 2.19 | D | 1.53 | mD | 2.23 | mD |
| 2.13 | M | 1.50 | mD-D | 2.18 | mD |
| 2.05 | mD | | | 2.13 | D |
| 1.99 | M | | | 1.99 | D-M |
| 1.81 | M | | | 1.81 | mD |
| 1.68 | D-M | | | 1.70 | mD |
| 1.64 | M | | | 1.68 | mD |
| 1.62 | D | | | 1.63 | mD |
| 1.59 | D | | | 1.54 | mD |
| 1.54 | M | | | 1.53 | mD |
| 1.53 | mD | | | 1.49 | D-M |
| 1.49 | M-F | | | | |
| 1.45 | M | | | | |

TABLA XXI

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil XI (T.P.F.)

| A_0+A_1 | | A_1 | | $A/(B)$ | |
|-----------|-----|---------|------|---------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 7.04 | nD | 7.04 | dif. | 7.12 | D |
| 6.59 | nD | 5.03 | nD | 4.99 | D |
| 5.57 | nD | 4.42 | D | 4.45 | nD |
| 5.39 | nD | 4.14 | F | 4.17 | nF |
| 4.95 | nD | 3.70 | M | 3.70 | nD |
| 4.46 | D-M | 3.34 | M | 3.34 | D |
| 4.19 | D-M | 2.92 | D-M | 3.02 | nD |
| 3.69 | nD | 2.68 | F | 2.99 | nD |
| 3.42 | nD | 2.56 | nD | 2.70 | F |
| 3.33 | F | 2.52 | nF | 2.58 | D-M |
| 3.25 | nD | 2.43 | M-F | 2.51 | D-M |
| 3.10 | nD | 2.29 | nD | 2.43 | F-nF |
| 2.95 | D | 2.20 | D | 2.24 | M |
| 2.68 | M | 2.17 | M-F | 2.19 | M-F |
| 2.57 | D-M | 1.95 | nD | 2.04 | nD |
| 2.51 | nF | 1.81 | M | 1.99 | nD |
| 2.44 | D-M | 1.77 | D | 1.92 | nD |
| 2.19 | M | 1.70 | D-M | 1.79 | nD |
| 2.11 | nD | 1.67 | nF | 1.71 | M-F |
| 2.08 | nD | 1.63 | nD | 1.68 | M |
| 1.81 | D | 1.58 | D | 1.59 | nD |
| 1.69 | M-F | 1.55 | D | 1.56 | M |
| 1.60 | D | 1.50 | D | 1.50 | M |
| 1.56 | nD | 1.46 | D | 1.45 | M |
| 1.54 | nD | 1.44 | F | | |
| 1.50 | nD | | | | |
| 1.47 | M | | | | |
| 1.45 | M | | | | |

TABLA XXI (continuación)

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla
de los horizontes del perfil XI (T.P.F.)

| (B) | | (B) | |
|-------|------|-------|----------|
| d (Å) | I | d (Å) | I |
| 5.45 | mD | 10.68 | mD |
| 4.94 | mD-D | 9.55 | mD |
| 4.60 | M | 7.31 | banda |
| 4.18 | F | 4.99 | D-M |
| 3.70 | mD | 4.67 | D |
| 3.38 | mD | 4.18 | mF |
| 2.96 | D | 3.38 | D-M |
| 2.82 | mD | 3.08 | mD |
| 2.69 | F | 2.96 | mD |
| 2.58 | mD-D | 2.84 | mD |
| 2.44 | F | 2.69 | F |
| 2.25 | mD-D | 2.57 | D |
| 2.19 | mD-D | 2.50 | D(banda) |
| 1.88 | mD | 2.45 | mF |
| 1.71 | M-F | 2.39 | mD |
| 1.69 | mD-D | 2.30 | mD |
| 1.66 | mD | 2.25 | D-M |
| 1.56 | M | 2.19 | M |
| 1.50 | M | 2.10 | mD |
| 1.45 | M | 2.00 | mD-D |
| | | 1.92 | D |
| | | 1.89 | mD |
| | | 1.80 | D |
| | | 1.77 | mD |
| | | 1.72 | F |
| | | 1.69 | D |
| | | 1.68 | mD |
| | | 1.56 | M-F |
| | | 1.51 | M-F |
| | | 1.46 | M-F |

TABLA XXII

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil XII (S.R.T.)

| A ₁₋₁ | | A ₁₋₂ | | C ₁ | |
|------------------|------------|------------------|-----------|----------------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 13.9 | F | 9.96 | M (dif) | 14.43 | M-F |
| 10.1 | D-M | 7.48 | M (dif) | 10.11 | D-M |
| 9.31 | F-M | 4.90 | mD-D | 9.37 | mD |
| 8.50 | mD-D | 4.46 | F | 7.16 | D |
| 7.12 | M | 4.19 | D-M | 4.96 | D |
| 4.73 | mD | 3.83 | mD | 4.72 | mD-D |
| 4.58 | D-M | 3.51 | D | 4.57 | D |
| 4.47 | F | 3.34 | mF | 4.46 | F-mF |
| 4.25 | D | 3.23 | mD | 4.16 | F |
| 4.15 | mD | 3.10 | D | 3.48 | mD |
| 3.57 | D | 3.00 | mD | 3.42 | mD |
| 3.34 | mF | 2.85 | mD | 3.34 | mF |
| 3.24 | mD | 2.69 | D | 3.21 | mD |
| 3.12 | M-F | 2.57 | M | 3.12 | mD |
| 2.98 | mD | 2.50 | mD | 2.97 | mD |
| 2.87 | mD | 2.43 | D | 2.81 | M-F |
| 2.70 | D-M | 2.20 | D-M (dif) | 2.70 | D |
| 2.57 | M | 2.00 | D (dif) | 2.60 | mD |
| 2.50 | D | 1.81 | D-M (dif) | 2.56 | M |
| 2.36 | mD | 1.69 | M-F (dif) | 2.51 | mD-D |
| 2.27 | mD | 1.53 | F | 2.43 | F |
| 2.22 | mD | 1.49 | M-F (dif) | 2.39 | mD |
| 2.20 | mD-D | 1.45 | D-M (dif) | 2.24 | mD-D |
| 2.17 | mD-D | | | 2.19 | mD |
| 2.13 | D | | | 2.13 | mD |
| 2.00 | D (dif) | | | 1.99 | M |
| 1.83 | mD | | | 1.91 | mD |
| 1.81 | D-M | | | 1.81 | mD |
| 1.72 | mD | | | 1.79 | mD |
| 1.69 | D (dif) | | | 1.71 | D |
| 1.67 | D | | | 1.55 | mD |
| 1.56 | mD | | | 1.53 | D-M |
| 1.53 | D-M (dif) | | | 1.50 | D-M |
| 1.50 | D-mD (dif) | | | | |
| 1.45 | mD (dif) | | | | |

TABLA XXIII

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil XIII (S.P.R.t.)

| Ap | | Ap/B | | B/Ca | | C/Ca | |
|-------|------|-------|------|----------------|------|-------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 10.03 | M | 9.38 | nD | líneas difusas | | 15.45 | nD |
| 6.28 | F | 7.16 | dif. | 6.22 | D-M | 10.11 | dif. |
| 4.45 | D-M | 6.28 | M | 4.45 | M-F | 7.12 | nD |
| 4.21 | D | 4.43 | D-M | 4.25 | D | 6.32 | D |
| 3.61 | nF | 4.22 | D | 3.57 | D-M | 4.49 | M-F |
| 3.33 | F | 3.62 | M-F | 3.49 | nD-D | 4.25 | D |
| 2.80 | M-F | 3.51 | nD | 3.29 | nF | 4.16 | nD |
| 2.69 | nD | 3.34 | D | 3.16 | nD | 3.72 | D-M |
| 2.55 | F | 3.31 | F | 2.76 | M | 3.52 | nD-D |
| 2.51 | nD | 2.82 | D-M | 2.67 | nD | 3.35 | F |
| 2.45 | nD-D | 2.79 | D-M | 2.54 | F | 3.33 | nF |
| 2.36 | D | 2.68 | nD | 2.43 | D | 2.97 | nD |
| 2.07 | M | 2.66 | nD | 2.35 | D | 2.80 | nD-D |
| 1.97 | D | 1.57 | M | 2.24 | nD | 2.68 | nD |
| 1.87 | D | 2.54 | M | 2.17 | nD | 2.57 | M |
| 1.80 | M | 2.50 | nD | 2.10 | nD | 2.51 | nD |
| 1.73 | D-M | 2.45 | nD | 2.07 | nD | 2.45 | D |
| 1.68 | D | 2.38 | nD | 1.97 | nD | 2.38 | nD-D |
| 1.66 | D | 2.27 | nD | 1.81 | D | 2.28 | nD |
| 1.56 | M | 2.10 | D | 1.67 | nD | 2.24 | nD |
| 1.53 | D-M | 2.03 | D | 1.64 | nD | 2.13 | nD |
| 1.52 | D-M | 1.81 | D | 1.55 | D-M | 2.09 | nD |
| 1.49 | D-M | 1.75 | nD | 1.53 | D-M | 1.99 | nD |
| 1.47 | D-M | 1.73 | nD | 1.48 | M | 1.81 | D |
| 1.44 | D-M | 1.57 | D-nD | 1.44 | D-M | 1.56 | nD |
| 1.37 | D | 1.56 | D | 1.36 | M | 1.53 | D |
| | | 1.53 | D | | | 1.50 | D |
| | | 1.45 | D | | | 1.44 | nD |
| | | 1.38 | D-M | | | 1.37 | nD-D |
| | | 1.37 | D-M | | | | |

TABLA XXIV

Datos de difraccion de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil XV (S.R.M.L.)

| A ₁ | | A ₂ | | A/B | |
|----------------|------|----------------|-----|--------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 13.14 | mD | 4.90 | M | 13.47' | D |
| 10.11 | M | 4.45 | D | 9.80 | M |
| 4.95 | mD | 4.15 | mD | 7.12 | mD |
| 4.46 | F | 3.63 | M-F | 4.94 | mD |
| 4.28 | D | 3.28 | mF | 4.46 | F |
| 4.15 | mD | 2.78 | F | 4.25 | D |
| 3.86 | mD | 2.54 | M-F | 4.15 | mD |
| 3.68 | mD | 2.41 | M | 3.67 | mD |
| 3.45 | mD | 2.36 | D-M | 3.52 | D |
| 3.33 | mF | 1.97 | F | 3.34 | mF |
| 3.19 | mD | 1.81 | M | 3.21 | D |
| 3.10 | mD | 1.68 | D-M | 2.99 | D-M |
| 2.97 | D | 1.53 | D | 2.81 | F |
| 2.81 | D-M | 1.49 | D-M | 2.69 | M |
| 2.67 | mD | 1.44 | D | 2.56 | F |
| 2.56 | M | 1.37 | D-M | 2.52 | D |
| 2.52 | mD | | | 2.45 | D-M |
| 2.42 | D | | | 2.38 | D |
| 2.29 | mD-D | | | 2.29 | mD |
| 2.24 | mD | | | 2.25 | mD-D |
| 2.19 | mD | | | 2.20 | mD |
| 2.13 | D-M | | | 2.13 | D |
| 1.99 | F | | | 1.99 | M-F |
| 1.81 | D-M | | | 1.82 | M-F |
| 1.54 | D-M | | | 1.70 | mD |
| 1.53 | D | | | 1.63 | D-M |
| 1.50 | M | | | 1.54 | M |
| 1.48 | D | | | 1.50 | M-F |
| 1.45 | M | | | 1.45 | M |

TABLA XXIV (continuación)

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla de los horizontes del perfil XV (S.R.M.L.)

| B ₂ | | B ₃ | | C/Ca | |
|----------------|-----|----------------|------|-------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 9.73 | D | 10.11 | D-M | 10.11 | M-F |
| 8.22 | D | 4.49 | F | 4.90 | D |
| 5.21 | D | 4.22 | D | 4.46 | M-F |
| 4.39 | F | 3.48 | D | 4.20 | M |
| 4.09 | D | 3.34 | F | 3.75 | D |
| 3.60 | M | 3.25 | mD | 3.46 | D |
| 3.48 | D | 3.02 | mD-D | 3.33 | mF |
| 3.33 | mF | 2.80 | mF | 3.19 | D |
| 3.05 | M | 2.70 | D | 2.96 | mD-D |
| 2.70 | M | 2.56 | D-M | 2.84 | mD |
| 2.54 | F | 2.42 | D | 2.77 | mD |
| 2.47 | D-M | 2.18 | D | 2.66 | mD |
| 2.43 | D | 1.99 | F-mF | 2.56 | mF |
| 2.12 | D | 1.83 | mD | 2.44 | M |
| 2.07 | D | 1.70 | mD-D | 2.37 | D |
| | | 1.62 | D-M | 2.25 | D |
| | | 1.54 | mD | 2.18 | D |
| | | 1.49 | M | 2.12 | D-M |
| | | 1.45 | D | 2.07 | mD |
| | | 1.41 | D | 1.97 | D-M |
| | | | | 1.88 | mD |
| | | | | 1.80 | D-M |
| | | | | 1.73 | D |
| | | | | 1.70 | D-M |
| | | | | 1.65 | D-M |
| | | | | 1.60 | D |
| | | | | 1.50 | F |
| | | | | 1.44 | D |

TABLA XXV

Datos de difraccion de rayos X de la fraccion arcilla de los horizontes del perfil XVIII (S.P.L.g.)

| A_p | | Bg_1 | | Bg_{2-1} | |
|-------|------|--------|------|------------|------|
| d (Å) | I | d (Å) | I | d (Å) | I |
| 9.90 | D(D) | 9.84 | D-M | 10.19 | D-M |
| 4.92 | D | 8.30 | mD | 8.27 | mD |
| 4.45 | M-F | 6.28 | F | 6.28 | F |
| 4.20 | M-F | 4.94 | mD | 4.90 | D-M |
| 3.88 | D | 4.77 | mD | 4.47 | F-mF |
| 3.68 | D | 4.44 | F | 4.13 | F-mF |
| 3.47 | D | 4.25 | M | 3.89 | mD |
| 3.34 | mF | 4.11 | M | 3.61 | F-mF |
| 3.19 | D | 3.87 | mD | 3.48 | D |
| 2.97 | D | 3.64 | F | 3.33 | mF |
| 2.81 | D | 3.49 | D | 3.20 | D |
| 2.66 | D | 3.33 | mF | 2.97 | D |
| 2.56 | M-F | 3.18 | mD | 2.81 | F |
| 2.43 | M-F | 2.98 | D | 2.65 | D |
| 2.27 | M | 2.81 | M | 2.56 | F |
| 2.21 | M | 2.66 | mD-D | 2.42 | M-F |
| 2.16 | mD-D | 2.56 | M-F | 2.38 | mD |
| 2.11 | D | 2.45 | D-M | 2.22 | D |
| 2.03 | mD | 2.42 | D-M | 2.16 | D |
| 1.97 | M | 2.38 | D | 2.09 | D |
| 1.88 | mD | 2.27 | D | 1.98 | M |
| 1.81 | D | 2.22 | D | 1.81 | D |
| 1.80 | M-F | 2.11 | D | 1.74 | mD |
| 1.69 | D-M | 2.10 | D | 1.70 | D-M |
| 1.65 | D-M | 1.98 | D-M | 1.54 | mD |
| 1.53 | M-F | 1.81 | D-M | 1.49 | M |
| 1.49 | M | 1.79 | mD | | |
| 1.44 | M | 1.71 | D | | |
| | | 1.67 | mD | | |
| | | 1.66 | mD | | |
| | | 1.63 | D | | |
| | | 1.60 | D | | |
| | | 1.58 | mD | | |
| | | 1.54 | D-M | | |
| | | 1.52 | mD | | |
| | | 1.50 | D-M | | |
| | | 1.45 | D | | |

TABLA XXV (continuación)

Datos de difracción de rayos X de la fracción arcilla
de los horizontes del perfil XVIII (S.P.L.g.)

| Bg ₂₋₂ | | B/Ca | | D | |
|-------------------|------|-------|------|-------|------|
| a (Å) | I | a (Å) | I | a (Å) | I |
| 10.19 | nD | 10.27 | M | 16.41 | D |
| 6.29 | F | 7.04 | nD | 12.51 | D |
| 4.47 | D-M | 6.25 | D-M | 10.11 | D |
| 4.25 | D | 4.94 | nD-D | 6.28 | M-F |
| 4.14 | D | 4.43 | F | 5.69 | nD |
| 3.64 | nF | 4.15 | M-F | 4.77 | D |
| 3.34 | M-F | 3.60 | D-M | 4.46 | M |
| 2.81 | M-F | 3.49 | nD | 4.28 | D |
| 2.56 | F | 3.34 | nF | 4.14 | D |
| 2.44 | nD | 3.21 | nD | 3.66 | F |
| 2.38 | nD | 2.96 | D-nD | 3.34 | D |
| 2.24 | nD | 2.80 | D | 3.33 | nF |
| 2.17 | nD | 2.66 | nD-D | 2.84 | M |
| 2.09 | M | 2.56 | F | 2.80 | D |
| 1.99 | D | 2.43 | M | 2.59 | D-M |
| 1.82 | D | 2.36 | D | 2.55 | D-M |
| 1.74 | D | 2.22 | D | 2.11 | D |
| 1.70 | nD | 2.11 | D | 1.99 | D |
| 1.64 | nD | 2.07 | D | 1.81 | nD |
| 1.57 | D | 1.98 | M | 1.75 | nD-D |
| 1.52 | D | 1.80 | D-M | 1.58 | D |
| 1.49 | nD | 1.70 | D-M | 1.56 | D |
| 1.47 | nD-D | 1.56 | D-M | 1.53 | nD-D |
| 1.37 | D | 1.54 | D | 1.51 | nD |
| | | 1.50 | M | 1.49 | nD |
| | | | | 1.45 | nD |

3.6 - Descripción micromorfológica

Perfil I. "Mazagón" (Palos Huelva) (R.a.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|--------------------------------|---|
| 0 - 4 | A ₀ +A ₁ | Restos vegetales más o menos descompuestos y humus moder. Granos del esqueleto con distribución granular. Poros simples de empaquetamiento. |
| 32 - 36 | A/C | Ausencia casi total de restos vegetales. Igual distribución relacionada que el anterior. Sobre algunos granos de cuarzo se observa plasma ferruginoso, de color rojo con luz reflejada. |
| 62 - 66 | C ₁ | Iguals características que la muestra anterior. |
| 92 - 96 | Dg ₂₋₁ | Granos del esqueleto con distribución relacionada aglomeroplás-mica a porfiroesquelética. Plasma de color rojo amarillento. |

Perfil II. "Hinojos" (Almonte, Huelva) (R.a.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|--------------------------------|--|
| 0 - 4 | A ₀ +A ₁ | Restos vegetales en diverso estado de alteración; humus moder grueso y fino; deyecciones aisladas de diverso tamaño. Microesqueleto arenoso constituido por granos de cuarzo. Distribución granular. En general el material del suelo no muestra agregados; existen algunos pequeños y poco diferenciados. Poros de empaquetamiento y otros espacios vacíos. |
| 6 - 12 | A ₁ | Moder fino y granos de cuarzo como en el anterior; menos deyecciones aisladas. Presencia de puntos rojos ferruginosos, observables con luz reflejada; algunos parecen individualizados como granos del esqueleto y otros se encuentran depositados sobre granos de cuarzo. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|--|
| 33 - 37 | A/C | Ausencia prácticamente total de restos vegetales. Microesqueleto arenoso de granos de cuarzo redondeados. Distribución granular. Concreciones ferruginosas perfectamente diferenciadas. |
| 54 - 58 | C | Dominio casi total de un esqueleto cuarzoso de granos redondeados. Distribución granular. Concreciones ferruginosas como en la preparación anterior. |
| 65 - 69 | Dg1 | Distribución porfiroesquelética. El plasma con luz reflejada tiene color amarillo limón. No hay concreciones. Se observan cutanes granulares de iluviación-difusión. Microporos asociados al plasma. |
| 92 - 96 | Dg2 | Distribución como en el caso anterior. Nódulos ferruginosos muy difusos y adhesivos. Algunos espacios vacíos lagunares y canales. Color abigarrado. |

Perfil III. "Algarabejo" (El Arahal, Sevilla) (REN.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozto.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|---|
| 0 - 8 | Ap | Restos vegetales muy descompuestos; humus mull. Distribución aglomeroplásmica. Poros y otros espacios vacíos de diversa forma y tamaño. Fuerte presencia por toda la masa de puntos rojizos anisótropos, indicando microconcreciones arcillo-ferruginosas. Existen separaciones rojizas dentro de la masa basal gris parduzca (neocutanes ferruginosos). Presencia de canales, cámaras y otros espacios vacíos. |
| 32 - 40 | A/(B) | Distribución aglomeroplásmica. Microporos abundantes y planos de retracción. Puntos rojizos, observables con luz reflejada, de diverso tamaño (micronódulos y microconcreciones). (fot. 11) |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|--|
| 42 - 50 | (B)/Ca | Distribución relacionada aglomeroplásmica. Material del suelo con tendencia a la agregabilidad. Gran número de microporos y espacios vacíos; toda la masa está atravesada por planos de retracción que presentan una dirección dominante. Presencia de puntos rojizos de diverso tamaño en toda la preparación. Concreciones calizas (cristallaria). |
| 60 - 68 | (B)/Ca | Distribución como la anterior, con mayor tendencia a porfiroesquelética. Mayor separación entre los planos de retracción. Las zonas pardo rojizas tienden a concentrarse paralelamente a las paredes de los planos de retracción. |

Perfil IV. "Cuesta del Espino" (Córdoba) (S.M.V.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|----------------|--|
| 0 - 5 | Ap | Humus mull. Granos finos del esqueloto. Distribución relacionada aglomeroplásmica a porfiroesquelética. Puntos rojos por toda la masa (micronódulos). Poros, espacios lagunares vacíos y planos de retracción. Plasma calizo. |
| 10 - 16 | Ap/(B) | Humus mull. Igual distribución que la anterior. Además de micronódulos rojizos, los hay también pardos, de igual tamaño y mayores. Masa gris caliza, con pequeños cristales de calcita. |
| 50 - 56 | (B) | Masa basal más compacta que las anteriores; distribución porfiroesquelética. Poros y planos de retracción. Puntos rojos y pardos (micronódulos) y nódulos. La masa basal presenta en algunas zonas una coloración amarillo rojiza. (halo glabular) |
| 120-126 | C ₁ | Características similares a la muestra anterior. (fots. 12 a 15) |

Perfil VIII. "Almadén de la Plata" (Sevilla) (T.P.M.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------------|---|
| 0 - 6 | A ₁ | Restos vegetales en avanzado estado de descomposición; humus mull. Distribución del microesqueleto y plasma, de granular a intertextica. Con luz reflejada el plasma presenta color amarillento con puntos rojizos y pardos debidos a micronódulos ferruginosos. |
| 15 - 23 | (B) ₁ /C | Ausencia de restos vegetales. Distribución aglomeroplásmica a porfiroesquelética. Con luz reflejada el plasma es amarillento, en diversas tonalidades dominando ligeramente el anaranjado: en la masa basal cierta presencia de separaciones naranjas y rojizas; con luz incidente de pardo claro a pardo oscuro, especialmente los bordes. Neocutanes en los agregados. Planos de retracción. Presencia de micronódulos y algunas microconcreciones. Presencia de masas fluidales. (fot. 16) |
| 50 - 60 | (B) ₂ /C | Distribución porfiroesquelética y aglomeroplásmica. Fuerte presencia de <u>neosesquans</u> en toda la preparación. Presencia de cutanes argílicos y sesquioxídicos de iluviación. Con luz reflejada, plasma amarillo-mate con muchas separaciones rojizas. Fuerte presencia de poros, canales y otros espacios vacíos de diversos tamaños. |

Perfil IX. "Burguillos" (Sevilla) (T.P.M.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|--------------------|---|
| 0 - 8 | A | Restos vegetales bien descompuestos. Humus null. Distribución aglomeroplásnica. El plasma presenta color amarillento con luz reflejada y pequeñas separaciones pardas; por transparencia pasa de amarillo parduzco a pardo. El material del suelo presenta una microestructura de esponja, con numerosos poros y otros espacios vacíos. El hierro está floculado, apareciendo algunos micronódulos. |
| 23 - 28 | (B)/C ₁ | Se observa microestructura esponjosa menos desarrollada que la anterior. Con luz reflejada el plasma es amarillento con algunas separaciones ferruginosas pardo anaranjadas y otras oscuras. |

Perfil X. "Castillo de las Guardas" (Sevilla) (T.P.M.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------------|---|
| 0 - 10 | A ₁ | Restos vegetales muy descompuestos. Humus null. distribución aglomeroplásnica. Con luz incidente el plasma es amarillo pálido a amarillo anaranjado, observándose separaciones naranjas y pardo oscuras, y pequeñas concreciones pardo rojizas por transparencia. |
| 12 - 20 | (B) | Distribución intertética-aglomeroplásnica. Con luz reflejada color amarillo huevo, con separaciones pardas y rojizas. Fuerte presencia de cutanes granulares y en los canales, cámaras, poros y otros espacios vacíos. Formación de neosquams; los cutanes son de iluviación-difusión; concreciones y nódulos ferruginosos. Fuerte presencia de masas fluidales ferruginosas. |
| 45 - 53 | (B) ₁ /C | Características análogas a la muestra anterior, menor presencia de canales y cámaras, y si lo están son de menor tamaño. |

Perfil XI. "Los Marines" (Aracena, Huelva) (T.P.F.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micronorfología</u> |
|------------------|--------------------------------|---|
| 0 - 4 | A ₀ +A ₁ | Restos vegetales bien descompuestos. Humus null. Distribución relacionada aglomeroplásnica. Agregados secundarios bien acomodados de origen faunal. Espacios vacíos y poros. Presencia de micronódulos en toda la masa del suelo. |
| 50 - 54 | A ₁ | Humus null. Distribución relacionada de aglomeroplásnica a intertética. Masa basal ferruginosa, floculada, con microestructura de esponja. |
| 68 - 72 | A/(B) | Características análogas a las de la muestra anterior. (fot. 17 y 18) |
| 102-106 | (B) | idem |
| 125-129 | (B) | idem |

Perfil XII. "Cantora" (Almadén de la Plata, Sevilla)
(S.R.T.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micronorfología</u> |
|------------------|------------------|--|
| 0 - 8 | A ₁₋₁ | Restos vegetales bien descompuestos. Humus null. Distribución relacionada aglomeroplásnica. Con luz reflejada el plasma es de color naranja con separaciones pardas; por transparencia, de amarillo pálido a pardo rojizo. Microconcreciones arcillo-ferruginosas en toda la masa del suelo; <u>cris-tallarias</u> calizas de diverso tamaño y forma (fot. 19) |
| 22 - 30 | A ₁₋₁ | Características análogas al anterior; mayor número de nódulos. |
| 52 - 60 | A ₁₋₂ | Además de nódulos, existen concreciones ferruginosas. En la masa basal el hierro está floculado. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|--|
| 112-120 | C | Distribución aglomeroplásmica. Cierta agregabilidad de la masa del suelo, fundamentalmente caliza. Algún micronódulo sesquioxídico. Con luz reflejada la masa basal es gris ligeramente amarillenta. Por transparencia es gris con puntos rojizos y parduzcos. |

Perfil XIII. "Alcorrín" (Ecija, Sevilla) (S.P.R.†.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|--|
| 0 - 4 | Ap | Humus mull. Distribución relacionada aglomeroplásmica. Espacios vacíos y poros. Nódulos sesquioxídicos irregulares y difusos, muy pequeños. Fuerte agregabilidad que determina grandes vacíos (estructura de microesponja por la actividad de la fauna del suelo). |
| 34 - 38 | Ap/B | Distribución aglomeroplásmica por firoesquelética. Poros, planos de retracción y canales. Con luz reflejada el plasma es amarillo grisáceo, y por transparencia rojo parduzco. Gran número de micronódulos ferruginosos y de nódulos calizos de mayor tamaño. Presencia de <u>neosesquans</u> . (fot. 20 y 21) |
| 62 - 66 | B/Ca | Distribución aglomeroplásmica por firoesquelética. Nódulos calizos en gran número. Con luz reflejada el plasma es de color gris parduzco, con puntos amarillentos; por transparencia, claro a pardo grisáceo, y gris con nódulos calizos |
| 94 - 98 | C/Ca | Distribución relacionada aglomeroplásmica. Material con cierta agregabilidad. En el interior de los agregados, gran número de poros. Nódulos calizos de diverso tamaño, en general redondeados. (fots. 22 y 23) (ncosesquans) |

Perfil XIV. "Antequera" (Málaga) (S.P.R.t.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|-------------------|---|
| 0 - 4 | Ap ₁ | Restos vegetales bien descompuestos. Humus mull. Distribución aglomeroplásmica porfiroesquelética. Con luz reflejada el plasma es de color amarillo grisáceo a amarillo anaranjado, presentando múltiples puntos parduzcos y rojizos. Por transparencia es de color pardo rojizo (ocre) con toda una gama de puntos negros, pardos y rojizos. Se observan cutanes granulares y neosesquans. Gran número de microconcreciones ferruginosas en toda la masa; nódulos calizos, algunos de estos con <u>halo glaebular</u> . Poros y espacios vacíos de diverso tamaño y forma. |
| 32 - 36 | Ap ₂ | Características como el horizonte anterior. |
| 42 - 46 | B/Ca ₁ | Distribución relacionada de porfiroesquelética a aglomeroplásmica. Con luz reflejada color amarillo naranja y gris; por transparencia, pardo y gris. Mayor presencia de nódulos calizos. <u>Agrotúbulos</u> . |
| | B/Ca ₂ | Iguales características que la anterior |

Perfil XV. "Dehesa Juliana" (Bollullos, Sevilla) (S.R.M.L)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|----------------|---|
| 0 - 4 | A ₁ | Restos vegetales bien descompuestos. Humus moder mulliforme. Distribución relacionada de intertética a granular. Con luz reflejada, amarillo claro con puntos pardos, llegando estos a ser de gran tamaño; por transparencia, color amarillo parduzco (ocre). Cutanes granulares, iluviales y de difusión. En el plasma existen micronódulos de color pardo, posiblemente ferruginosos. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|----------------|--|
| 4 - 8 | A ₂ | Restos vegetales bien descompuestos. Humus moderadamente mulliforme. Distribución relacionada de intertextura a aglomeroplásmica. Con luz reflejada el plasma es de color amarillo claro a amarillo anaranjado, presentando puntos y separaciones pardas. Por transparencia, amarillo ocre. Poros, espacios vacíos y canales de diversos tamaños y formas. Presencia de cutanes granulares de iluviación, y en la masa, algunos neocutanes arcillo-férricos. Micronódulos ferruginosos pardos. |
| 8 - 12 | A ₂ | Restos vegetales bien descompuestos. Humus moderadamente mulliforme. Distribución relacionada intertextura y granular. En la masa basal existen puntos pardos (micronódulos sesquioxídicos). |
| 15 - 19 | A/B | Algún resto vegetal muy descompuesto. Humus mull. Distribución relacionada de intertextura a aglomeroplásmica. Con luz reflejada color amarillo anaranjado; por transparencia, amarillo claro a ocre rojizo. Cutanes granulares. Algunos micronódulos ferruginosos (fot. 24) |
| 48 - 50 | B ₂ | Distribución relacionada aglomeroplásmica con cierta tendencia por firoesquelética. Con luz reflejada, color naranja; por transparencia, ocre rojizo. Algunos planos de retracción. Cutanes granulares iluviales y micronódulos pardos. |
| 68 - 72 | B ₃ | Distribución relacionada aglomeroplásmica. Con luz reflejada color naranja; por transparencia, rojo ocre. Cutanes granulares de difusión-iluviación. Microseparaciones en toda la masa plasmática (neosesquans). Poros y vacíos de empaquetamiento granular. Algunos micronódulos ferruginosos. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|--|
| 92 - 96 | C/Ca | Distribución básica al azar, referida no relacionada y relacionada aglomeroplásmica. Presencia de nódulos calizos y de micronódulos ferruginosos e incluso algunos <u>neosesquans</u> . (fot. 25 y 26) |

Perfil XVI. "El Arahal" (Sevilla) (S.R.M.L.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|------------------|---|
| 0 - 4 | Ap | Restos vegetales bien descompuestos. Humus moderadamente mulliforme y mull. Distribución intertextica aglomeroplásmica. Con luz reflejada color naranja con separaciones parduzcas; por transparencia pardo amarillento a pardo oscuro. Microporos resultantes del empaquetamiento de los granos del esqueleto. |
| 14 - 18 | Ap | Humus mull. Distribución relacionada de intertextica a aglomeroplásmica. Con luz reflejada color naranja y puntos pardos; por transparencia, pardo amarillento a pardo oscuro. Micronódulos ferruginosos. Algunos cutanes granulares. |
| 28 - 32 | A/B | Características análogas a la muestra anterior, sólo que la distribución es fundamentalmente aglomeroplásmica. |
| 42 - 46 | B ₂ | Distribución básica agrupada, referida concéntrica y relacionada aglomeroplásmica. Con luz reflejada color anaranjado y por transparencia, amarillo rojizo. Presencia de cutanes granulares de iluviación. |
| 82 - 86 | B ₂ | Características análogas al horizonte anterior. |
| 130-134 | B ₃₋₂ | Características análogas al horizonte anterior. Se observan cristales de calcita. |

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|---------------|---|
| 220-224 | C/Ca | Características análogas al horizonte anterior. Nódulos y microfósiles calizos. |

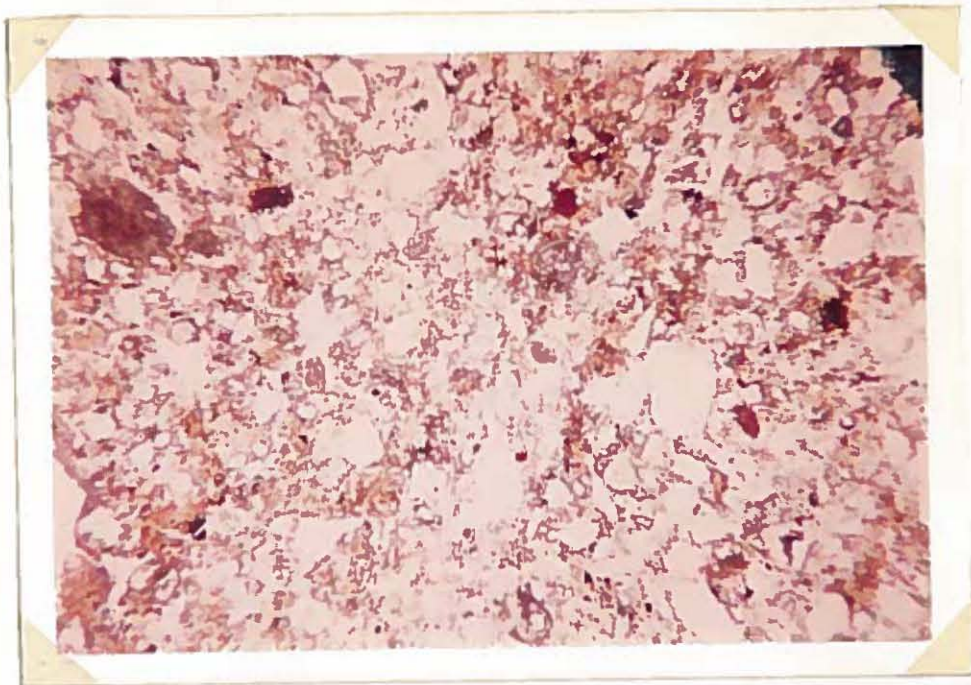
Perfil XVII. "La Rambla" (Córdoba) (S.R.M.L.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|----------------|--|
| 0 - 4 | Ap | Restos vegetales bien descompuestos. Humus mull. Distribución intertética a aglomeroplásnica. Con luz reflejada color anaranjado y puntos pardos; por transparencia, pardo amarillento con puntos pardos. Cutanes granulares de iluviación; microconcreciones ferruginosas en el plasma. |
| 24 - 28 | Ap | Características análogas al horizonte anterior. |
| 42 - 46 | B ₂ | Distribución relacionada aglomeroplásnica. Con luz reflejada color naranja fuerte, con presencia de algunos puntos pardos; por transparencia, rojo parduzco fuerte. Gran número de cutanes granulares de iluviación. Presencia de algunas microconcreciones ferruginosas pardas. |
| 72 - 76 | B ₂ | Distribución de intertética a aglomeroplásnica. Con luz reflejada, amarillo claro; por transparencia, pardo rojizo. En toda la masa se observan microseparaciones ferruginosas (hierro floculado). |
| 140-144 | C/Ca | El plasma es calizo y de color grisáceo, con algunas separaciones ferruginosas. Nódulos calizos. |

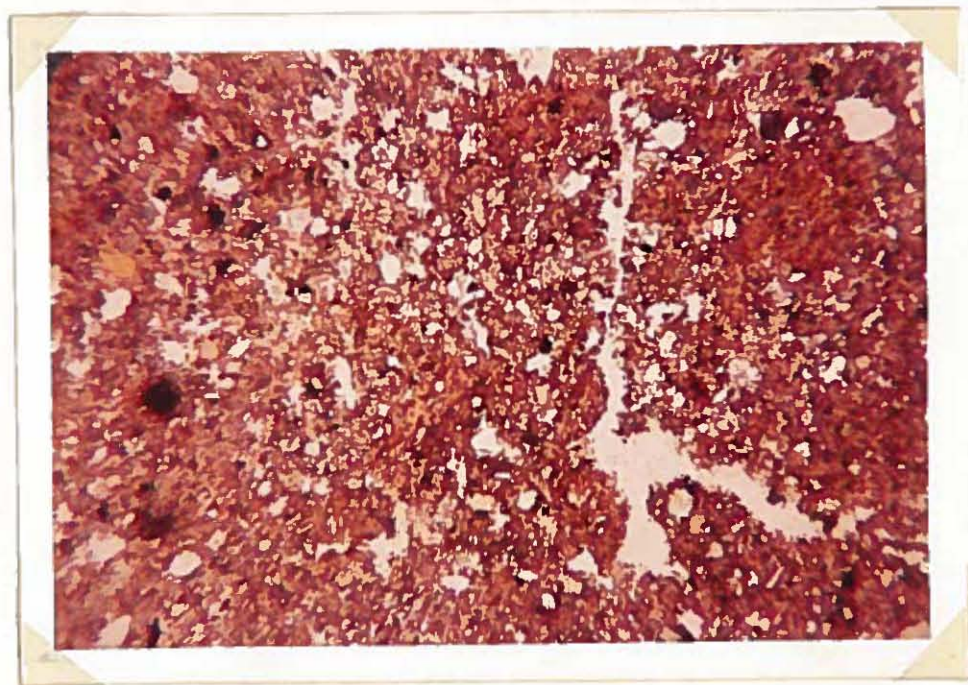
Perfil XVIII. "Mogollón" (Rinconada, Sevilla)(S.P.L.g.)

| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micromorfología</u> |
|------------------|-------------------|---|
| 2 - 10 | Ap | Restos vegetales bien descompuestos. Humus null. Distribución relacionada intertética a aglomeroplásnica. Con luz reflejada color pardo amarillento; por transparencia amarillo claro. Se observan puntos pardos y separaciones ferruginosas en toda la preparación, comprendiendo tanto nódulos como concreciones. |
| 12 - 20 | Ap | Características análogas, con mayor tendencia aglomeroplásnica y menor número de concreciones. Presencia de algunos cutanes granulares. |
| 20 - 28 | Bg ₁ | Distribución aglomeroplásnica. Los puntos pardos (microconcreciones y micronódulos), en mayor cantidad que anteriormente; menos nódulos y concreciones. |
| 40 - 48 | Bg ₂₋₁ | Características como en el horizonte anterior, observándose presencia de cutanes granulares de iluviación y tendencia a textura porfiroesquelética. Planos de retracción. |
| 60 - 68 | Bg ₂₋₁ | Distribución aglomeroplásnica. Con luz reflejada y por transparencia, el plasma es más oscuro que en los horizontes anteriores. Cutanes granulares de iluviación; presencia de canales arcillo-férricos; nódulos y concreciones, como anteriormente. |
| 70 - 78 | Bg ₂₋₂ | El plasma es más rojizo; menor proporción de canales arcillo-férricos y menos nódulos y concreciones. Planos de retracción en toda la masa. |

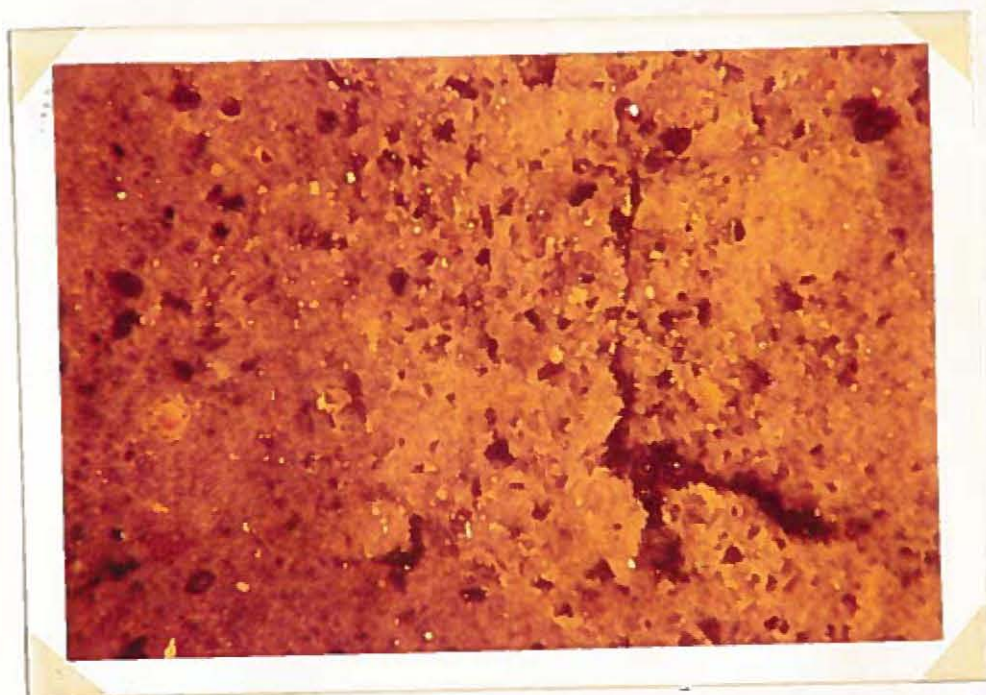
| <u>Prof.cms.</u> | <u>Hozte.</u> | <u>Micronorfología</u> |
|------------------|---------------|---|
| 122-130 | B/Ca | Distribución aglomeroplásnica a porfiroesquelótica. Manchas grises correspondientes a concreciones calizas. Planos de retracción. Algunos nódulos ferruginosos. |
| 152-160 | D | Como el anterior, con mayor contenido calizo. Algunas concreciones pequeñas de color pardo rojizo con luz reflejada. |



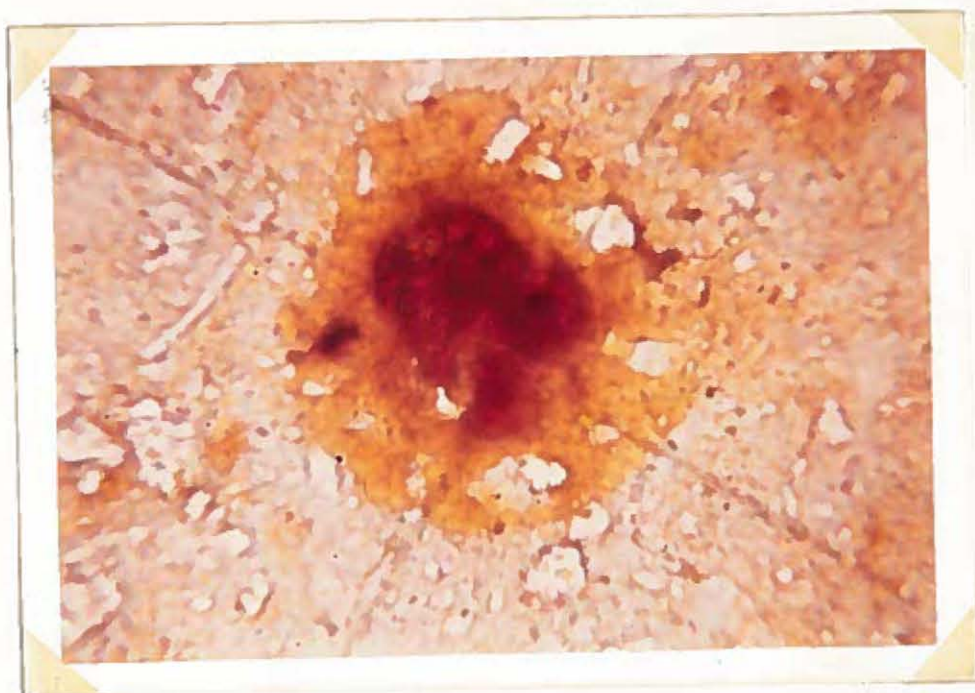
Fot. 11.- Perfil III. Horizonte A/(B). Microneodulos y microconcreciones. Transparencia (x40).



Fot. 12.- Perfil IV. Horizonte C₁. Distribución porfiroesquelética; microneodulos y nodulos. Transparencia (x16).



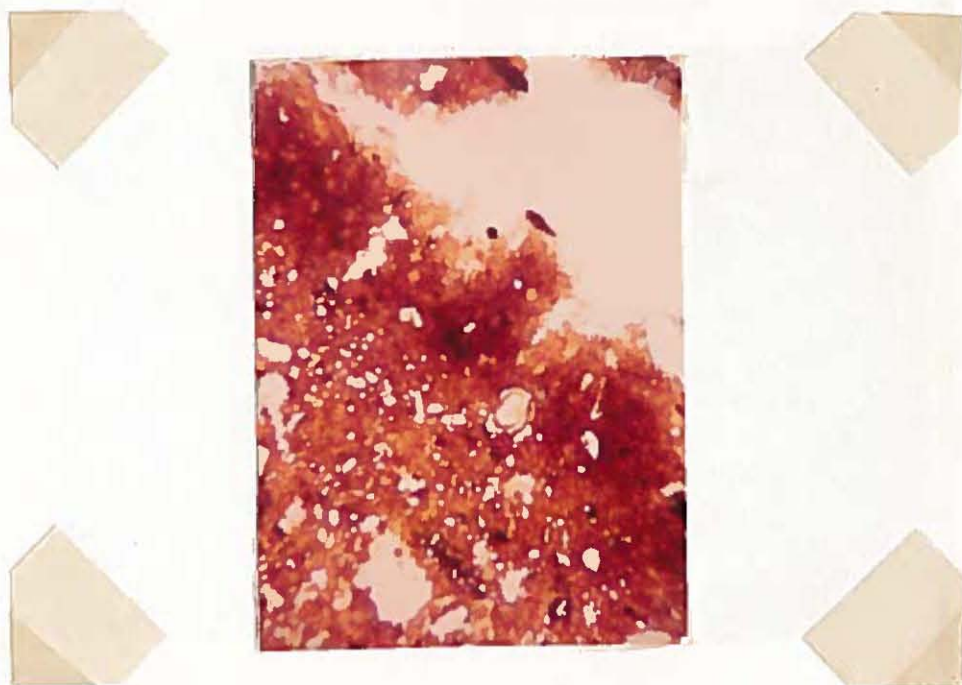
Fot. 13.- Perfil IV. Horizonte C₁. Igual anterior.
Reflejada (x16).



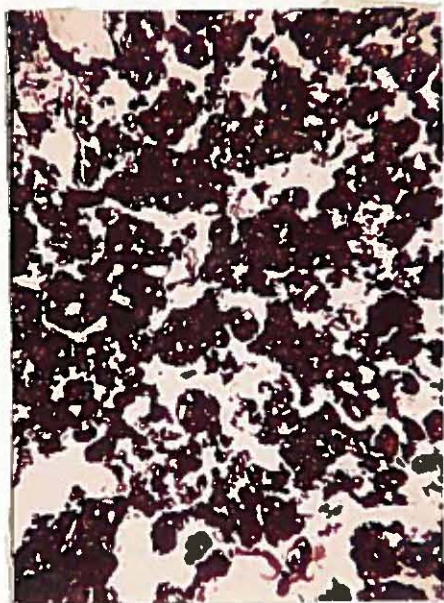
Fot. 14.- Perfil IV. Horizonte C₁. Detalle de
microconcreción con halo glauco.
Transparencia (x400).



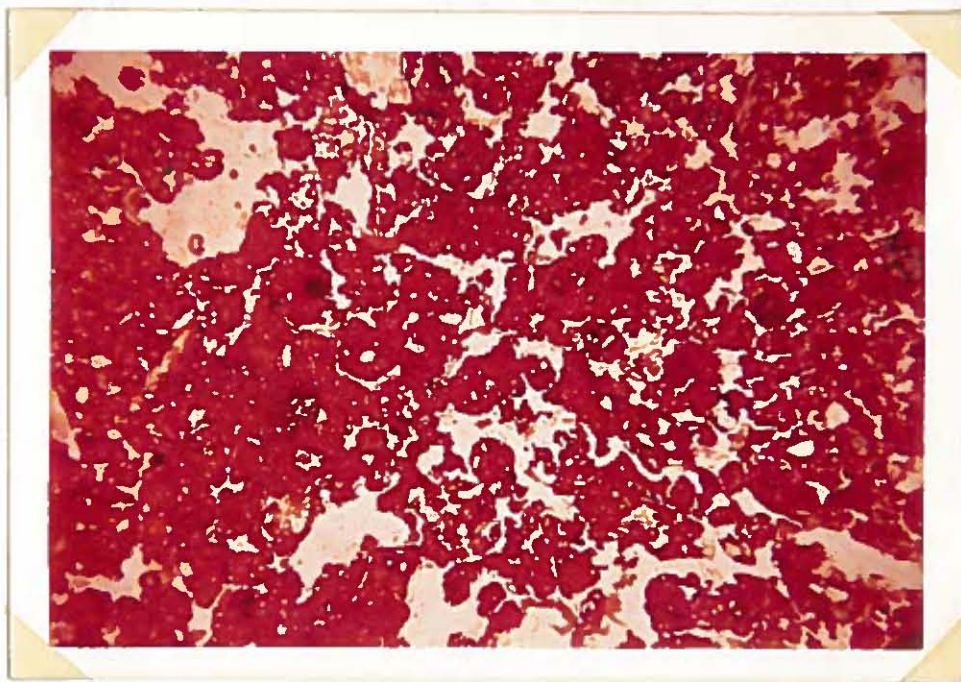
Fot. 15.- Perfil IV. Horizonte C₁. Igual anterior.
Reflejada (x400).



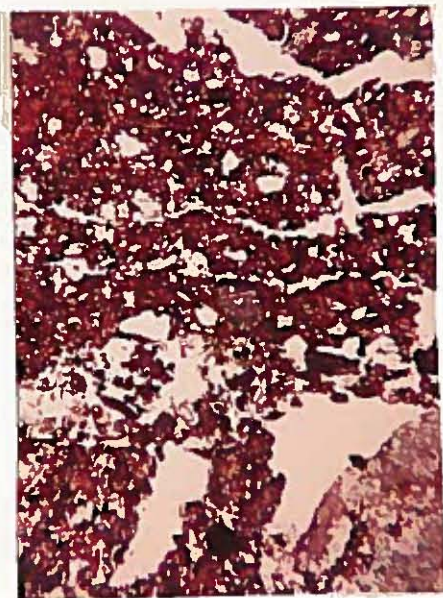
Fot. 16.- Perfil VIII. Horizonte (B)₁/C. Neocutan
ferruginoso. Transparencia (x25).



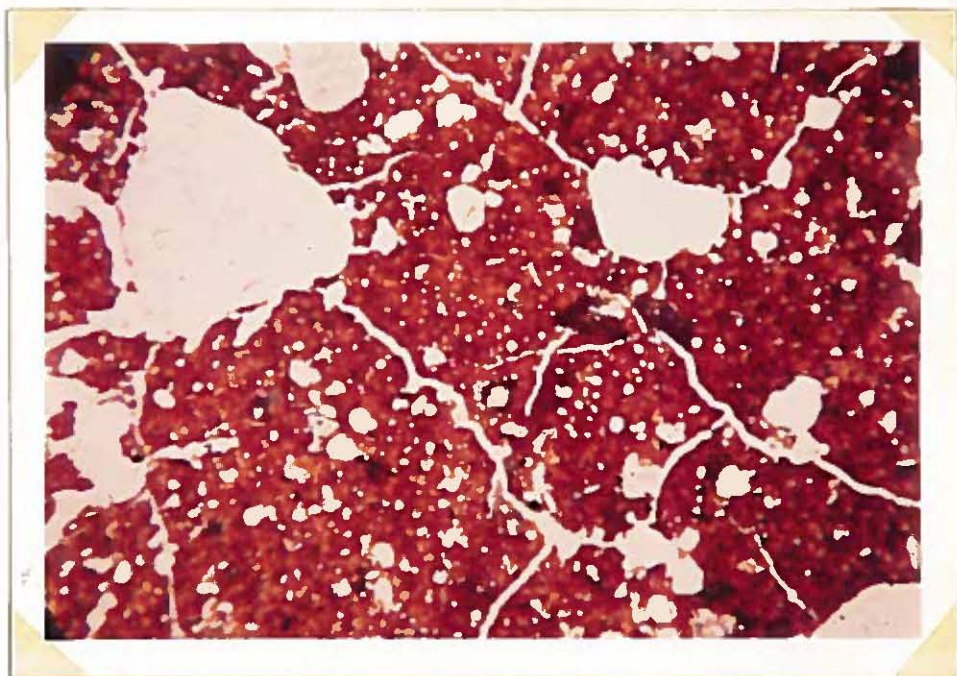
Fot. 17.- Perfil XI. Horizonte A/(B). Masa basal ferruginosa, floculada con microestructura de esponja. Transparencia (x25).



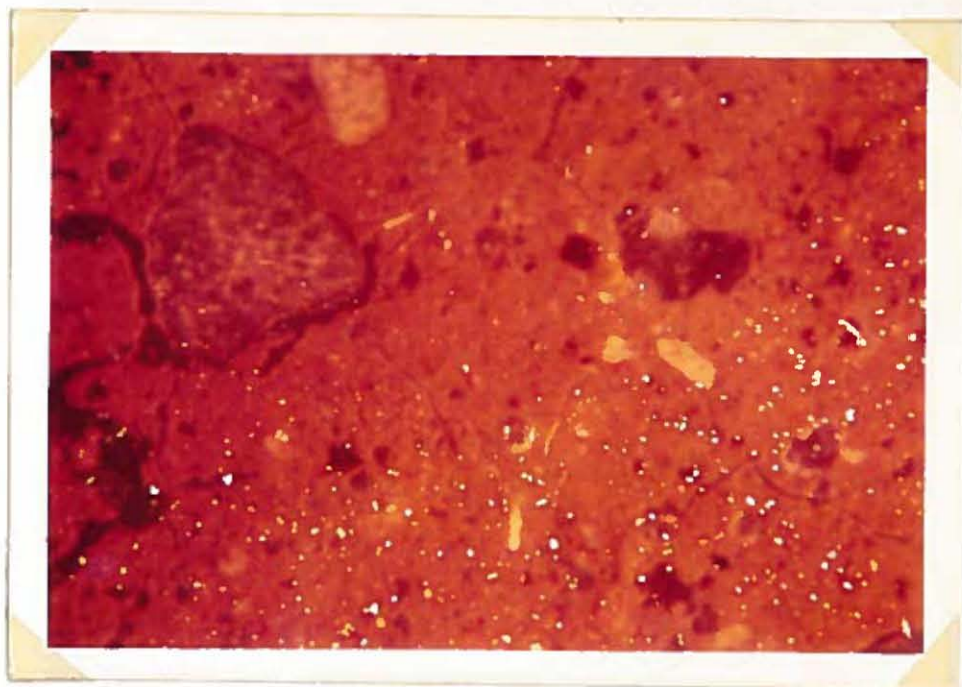
Fot. 18.- Perfil XI. Horizonte A/(B). Igual anterior. Transparencia y reflejada (x25).



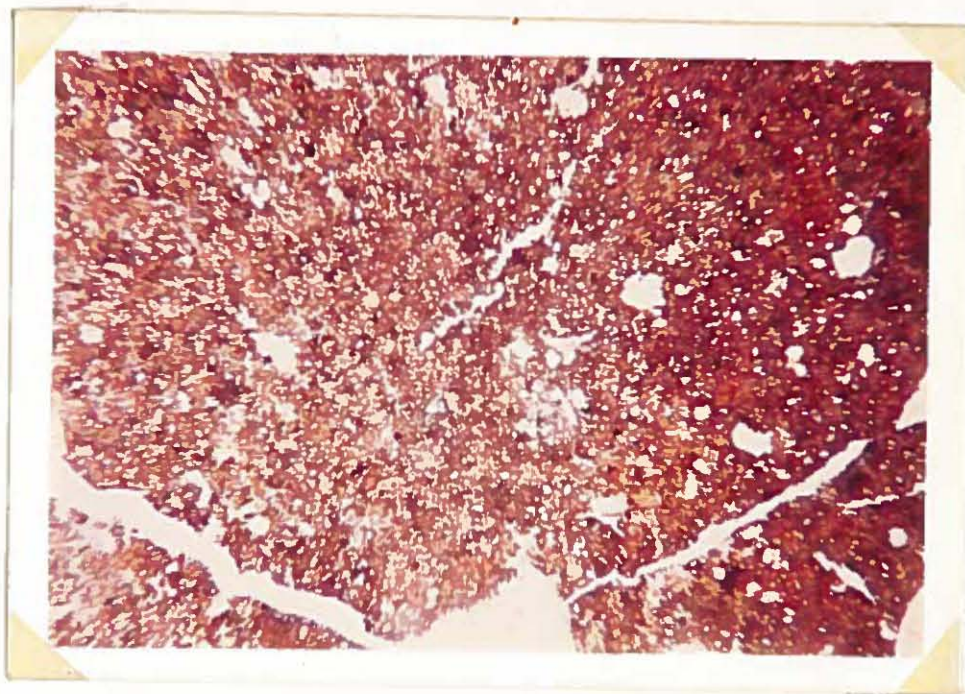
Fot. 19.- Perfil XII. Horizonte A₁₋₁. Terrificación: hierro floculado y ausencia de masas arcillo-ferruginosas fluidales. Transparencia (x25).



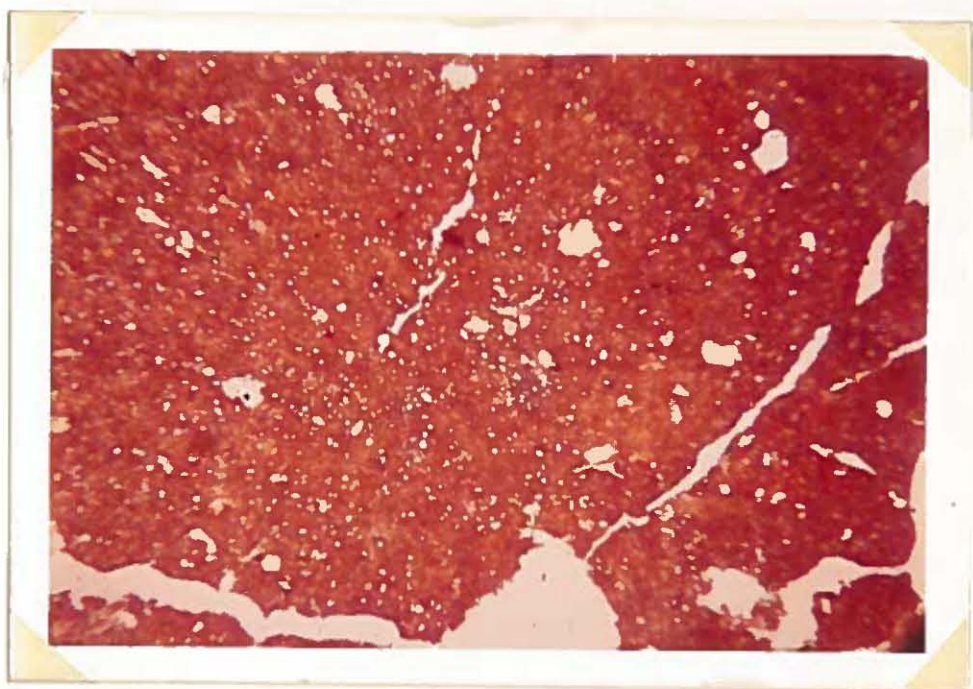
Fot. 20.- Perfil XIII. Horizonte Ap/B. Planos de retracción y canales; micronódulos ferruginosos y nódulos calizos; neosesquans. Transparencia (x25).



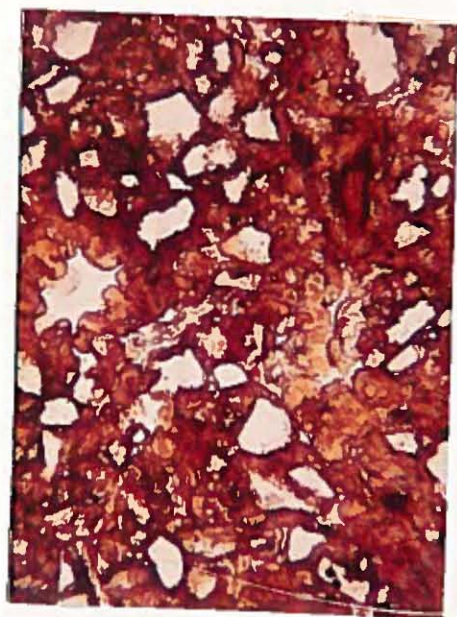
Fot. 21.- Perfil XIII. Horizonte Ap/B. Igual anterior.
Reflejada (x25).



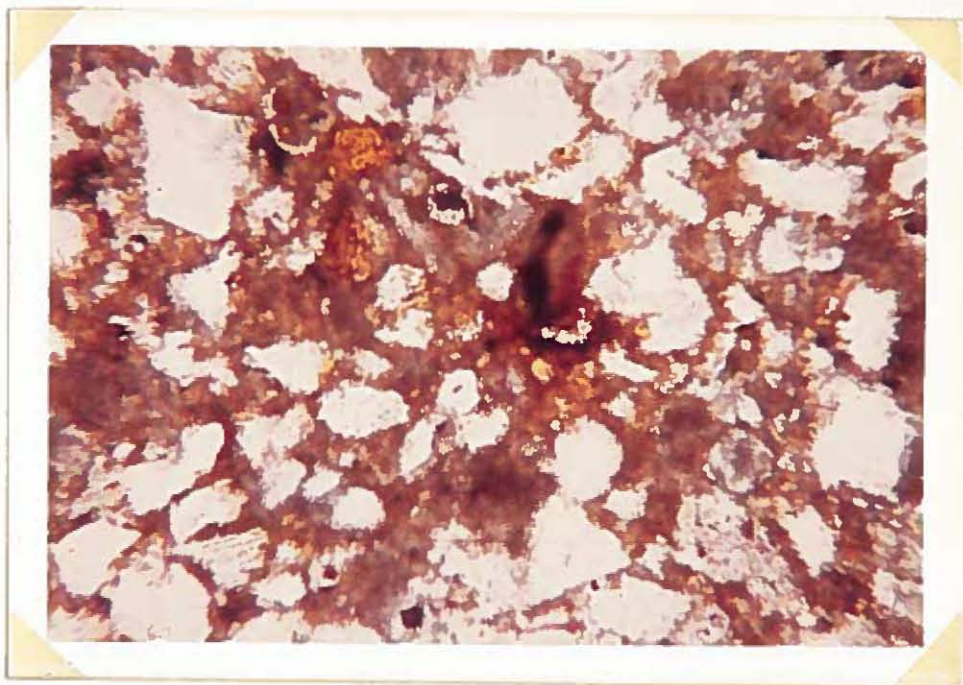
Fot. 22.- Perfil XIII. Horizonte C/Ca. Neosesquans.
Transparencia (x40).



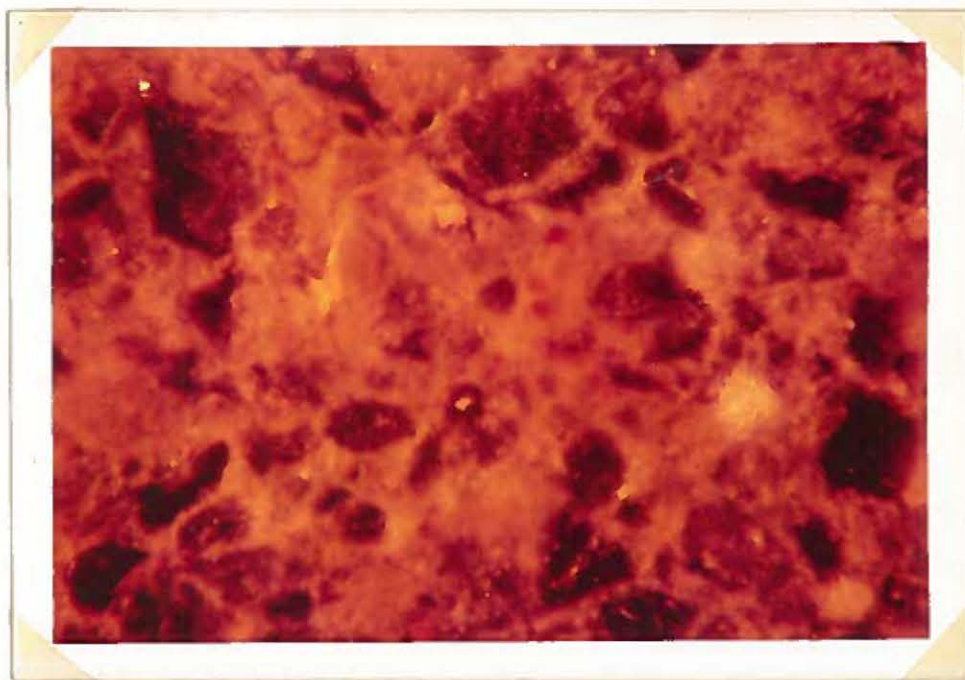
Fot. 23.- Perfil XIII. Horizonte C/Ca. Igual anterior. Reflejada (x40).



Fot. 24.- Perfil XV. Horizonte A/B. Cutanes arcillo-ferruginosos granulares. Transparencia (x40)



Fot. 25.- Perfil XV. Horizonte C/Ca. Micronódulos ferruginosos y neosesquans. Transparencia (x100).



Fot. 26.- Perfil XV. Horizonte C/Ca. Igual anterior. Reflejada (x100).

En un conjunto de veinte perfiles de suelos se han incluido diez grupos o tipos de los más frecuentes de Andalucía Occidental. Estos suelos son ranker arenoso (R.a.), rendsina (REN.), suelo margoso vértico (S.M.V.), tierra negra andaluza (T.N.A.), tierra parda meridional (T.P.M.), suelo rojo terrificado (S.R.T.), tierra parda ferrítica (T.P.F.), suelo rojo mediterráneo lavado (S.R.M.L.), suelo pardo rojizo de terraza (S.P.R.t.) y suelo pardo lavado de terraza con pseudogley (S.P.L.g.).

Dichos suelos representan también distintas tendencias evolutivas y diferentes grados de desarrollo de las formaciones edáficas de Andalucía Occidental. Estas formaciones resultan de la acción conjunta de una serie de factores ecológicos responsables de los procesos edafogenéticos. En último término, a través de los procesos genéticos los suelos adquieren sus propiedades.

Por consiguiente, los problemas referentes al contenido, distribución y formas de hierro en los suelos estudiados pueden ser discutidos en relación con los factores y procesos genéticos fundamentales, y con las propiedades más interesantes de dichos suelos respecto a los indicados problemas.

Quizás de todos los factores ecológicos de la génesis del suelo sea el clima actual de la región el que pueda considerarse común a todos los estudiados. En líneas generales este clima se caracteriza por presentar dos periodos diferentes, uno de otoño-invierno con lluvias y temperaturas bajas o moderadas, y otro de final de primavera a comienzos de otoño, fundamentalmente seco y con temperaturas moderadas y altas.

Por estas circunstancias climáticas la vegetación natural de la región, salvo en determinadas áreas más influenciadas por el medio, que constituyen transición hacia zonas más húmedas, corresponde al dominio climácico Oleo-Ceratonion. El clima, el tipo de vegetación, la dedicación agrícola de la mayoría de los suelos estudiados y el predominio de materiales calizos o suficientemente dotados en bases entre las rocas originarias de los suelos, en especial los del valle, explica satisfactoriamente la presencia casi general de humus mull con alta saturación en bases y la reacción prácticamente neutra de los de Andalucía Occidental.

De acuerdo con esta fisonomía general del conjunto de suelos investigados, los resultados experimentales muestran que la mayoría de ellos contienen Fe_2O_3 total en proporciones comprendidas entre 2 y 6 %, cantidades que no difieren mucho de las correspondientes a los materiales que constituyen el subsuelo de estas formaciones edáficas.

Haciendo uso de la información bibliográfica puede establecerse que el contenido en Fe_2O_3 total de estos suelos, exceptuando la tierra parda ferrítica, es análogo al de la mayoría de los suelos de zona templada. La tierra parda ferrítica contiene Fe_2O_3 en proporción de 35 a 55%, similar a la de algunos suelos ferralíticos.

Asimismo, los resultados comentados respecto al hierro libre (Deb) de los suelos que se estudian en este trabajo permiten situarlos en un mismo plano cuando se les compara con suelos de regiones templadas. Exceptuando nuevamente la tierra parda ferrítica, con 4% de Fe_2O_3 libre, los restantes contienen menos de 1%.

En el panorama expuesto de suelos con propiedades semejantes en cuanto a humus, saturación, reacción, Fe_2O_3 total y libre se refiere, surgen particularidades, diferencias importantes, cuando se estudian las proporciones de hierro libre respecto al Fe_2O_3 total.

Los suelos arenosos sobre pseudogley relicto, bajo matorral Rhamno Oleoidi-Juniperetum-macrocarpae, con Pinus pinea de reciente población, son los más pobres en hierro total. No obstante, siendo el contenido en hierro libre del orden de 0.23%, la proporción hierro libre/total es de 53%, la más alta que aparece en todos los estudiados. Esta circunstancia puede ser debida a varios factores que serán discutidos más adelante.

Con contenidos bajos en hierro total, del orden de 2%, se encuentran los suelos rojos mediterráneos

lavados sobre areniscas calizas. Estos suelos, como en general todos los grupos estudiados, tienen menos de 1% de hierro libre, y el valor medio de % de Fe_2O_3 libre/total se aproxima a 50, situándose a este respecto muy próximo a los rankers arenosos. Una consideración análoga puede hacerse sobre los suelos pardos lavados con pseudogley, con un 37% de hierro libre/total. Los suelos restantes, con 4.0 a 6.0% de hierro total, tienen proporciones de hierro libre/total más bajas, del 7.0 al 21.0%.

Dos suelos muy distintos aparecen con las más bajas proporciones de hierro libre/total: la tierra negra andaluza (7.0%) y la tierra parda ferrítica (9.0%). En el primero existen diversas causas que impiden una mayor cantidad de hierro libre: proporción y naturaleza de arcilla y tipo de humus; en el segundo la cantidad total de Fe_2O_3 parece depender de una evolución muy antigua sobre caliza que contiene hierro, que al ser liberado permanece o evoluciona hacia formas muy estables, por lo que la proporción hierro libre/total es pequeña.

Las diferencias existentes entre los contenidos en Fe_2O_3 total, hierro libre y proporción Fe_2O_3 libre/total en los diversos grupos de suelos estudiados, pueden explicarse considerando la composición química de éstos. En primer lugar es evidente que los suelos muy silíceos (suelo rojo mediterráneo, suelo pardo lavado y ranker arenoso) contienen proporciones variables de hierro libre,

en general poco hierro total y las más altas proporciones de hierro libre/total.

A este conjunto de suelos puede oponerse el constituido por tierra parda ferrítica, tierra parda meridional, suelo rojo terrificado y suelo pardo rojizo en cuya composición química sobresale una proporción baja de sílice, contenidos altos en hierro total y proporciones bajas o medias de hierro libre respecto al total. En una situación intermedia entre ambos conjuntos se encuentran los suelos arcillosos calizos (REN., S.M.V., T.N.A.).

Comparando las razones molares $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ y los % de Fe_2O_3 libre/total, se comprueba que los suelos con más altas proporciones de aluminio son también los de mayor proporción de Fe_2O_3 libre respecto al total y también los de menor contenido en bases.

El análisis químico pone de manifiesto que el contenido y movilización del hierro en los suelos estudiados depende de la proporción y naturaleza de sílice, aluminio y calcio. Sin embargo esta es una dependencia compleja que puede ser estudiada con más detalles cuando se consideran propiedades físicas y mineralógicas de los suelos.

En estos dos aspectos resultan del mayor interés los datos de Fe_2O_3 total en las fracciones mecánicas de los suelos estudiados y la granulometría de los mismos.

El establecimiento convencional de clases aten

diendo al contenido en Fe_2O_3 en las arcillas (6%; 6 - 9 %; 9 - 12%; 50%) proporciona una base útil en la discusión de la dinámica del hierro en relación con las características generales de cada grupo de suelos.

En efecto, las clases establecidas tienen el interés de separar suelos muy distintos y agrupar otros con uno o más procesos genéticos comunes y una o varias características análogas. Así, el ranker arenoso, - suelo joven, de poca alteración química y de condiciones ecológicas muy particulares -, contiene poco hierro en la fracción arcilla. Los suelos arcillosos sobre margas y la tierra parda meridional constituyen una clase relativamente homogénea, si se exceptúa este último suelo, cuyas arcillas contienen cantidades bajas o medias (6 a 9%) de Fe_2O_3 . La clase con 9 - 12% de Fe_2O_3 en las arcillas corresponde a suelos maduros con lavado de coloide y pseudogleyización (S.P.L.g.) o rubificación (S.R.M.L.), y a suelos maduros con rubificación sobre sedimentos arenosos calizos o calizas cristalinas (S.P.R.t.; S.R.T.). La tierra parda ferrítica representa nuevamente un caso extremo; el dato de hierro en la fracción arcilla define a esta formación edáfica como suelo de alto enriquecimiento en hierro a partir de un material subyacente especial, a través de procesos genéticos antiguos y nunca interrumpidos.

El contenido en Fe_2O_3 en las fracciones limo de los distintos grupos de suelos es inferior al de las

fracciones arcilla. Y ordenando los suelos atendiendo a los valores de hierro total en dicha fracción limo, se encuentra entre los de menor proporción en Fe_2O_3 (ranker arenoso, rendsina, tierra negra andaluza), el suelo rojo mediterráneo lavado y el pardo rojizo de terraza, cuyas arcillas contienen las más altas proporciones de hierro (9 - 12%).

Frente a este comportamiento debe destacarse el del suelo rojo terrificado y el de la tierra parda ferrítica, en otro orden de valores, que presentan las más altas proporciones de hierro total en las fracciones arcilla y limo.

Los datos experimentales muestran claramente que el hierro se libera de las rocas y minerales que lo contienen durante los procesos de alteración y pasa con marcada preferencia a la fracción arcilla. Según las condiciones físico-químicas del medio, una vez alcanzado cierto valor límite en la fracción fina puede acumularse algo en el limo o diferenciarse más o menos irreversiblemente en separaciones edáficas (nódulos, concreciones, etc.). Lo primero ocurre efectivamente en la tierra parda ferrítica y en el suelo rojo terrificado; y lo segundo en el suelo pardo lavado con pseudogley y suelo rojo mediterráneo lavado, en cuyos limos no existe una sensible acumulación de hierro, apreciándose por el contrario en el estudio micromorfológico ciertas separaciones ferruginosas. Finalmente, de acuerdo con estas consideraciones se

comprueba que en los suelos estudiados las fracciones arena gruesa y arena fina tienen menor contenido en hierro que las de arcilla y limo.

Las variaciones del contenido en hierro en los distintos horizontes son de gran interés en el estudio de la dinámica del hierro en el perfil. A este respecto los suelos estudiados muestran secuencias de distribución diferentes que puede relacionarse con las variaciones de otras características y propiedades. Puesto que la distinta proporción de hierro en los horizontes de un mismo perfil puede depender de diferencias texturales en éstos, es interesante el conocimiento del contenido en hierro de una misma fracción en los diversos horizontes.

La fuerte acumulación de hierro en la fracción arcilla de los horizontes profundos del perfil I, frente a la de los horizontes superiores, confirma la existencia de una discontinuidad litológica. Los suelos arcillosos (rendsina y suelo margoso vértico) presentan gran homogeneidad en el contenido de hierro de la fracción fina de los distintos horizontes. En las tierras pardas se observa cierta acumulación de hierro en la fracción arcilla de los horizontes subsuperficiales. Por el contrario, en el suelo pardo rojizo de terraza la manifiesta disminución del contenido en hierro en la arcilla con la profundidad muestra decapitación del perfil por erosión. Asimismo, resulta evidente de los datos experimentales comentados que la arcilla de los horizontes iluviales con-

tienen más hierro que la de los horizontes A, (B) ó C como se comprueba en el suelo rojo mediterráneo lavado, suelo pardo lavado, etc.

En lo que respecta a formas cristalinas de compuestos de hierro en las arcillas, el estudio por difracción de rayos X y análisis térmico diferencial permite identificar goethita, hematites, lepidocrocita y maghemita en mayor o menor proporción.

De estos compuestos goethita, $\gamma\text{-FeOOH}$, es el mineral que aparece con una distribución más amplia en los diversos suelos estudiados. Podría considerársele la forma que representa el resultado más general de la evolución del hierro en dichos suelos.

A la goethita se asocian en las arcillas de los diversos suelos otros minerales de hierro, los cuales, aún encontrándose también en pequeña proporción, reflejan particularidades microclimáticas y características físico-químicas especiales. Así por ejemplo, se confirma en los suelos de la región con mayor o menor hidromorfismo la existencia de $\gamma\text{-FeOOH}$ lepidocrocita en los horizontes pseudogleyizados, como ocurre en el ranker arenoso sobre villa franquense, en el suelo margoso vértico y en la tierra negra andaluza.

En el suelo pardo rojizo de terraza aparece lepidocrocita en el horizonte arcilloso superior, y en el suelo pardo lavado con pseudogley, también de terraza, en el horizonte Bg. Por último, en el horizonte argílico

del suelo rojo mediterráneo lavado aparecen indicios de lepidocrocita. Puede concluirse ciertamente que la génesis de lepidocrocita en las arcillas de los suelos citados tiene de común la existencia en éstos de un ambiente físico confinado cuyo origen radica en una capa freática estacional.

En otros grupos de suelos aparece en las arcillas $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$, hematites, asociada a goethita; esto ocurre en los horizontes superiores de tierra parda meridional, en la tierra parda ferrítica, en el suelo rojo terrificado y en el suelo rojo mediterráneo lavado. A juzgar por las características del medio y de los suelos citados puede decirse que la presencia de hematites en las arcillas viene determinada por una alteración química relativamente intensa y microclima del suelo seco y bien aireado.

Por último, sólo en la tierra parda ferrítica se ha identificado $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$, maghemita, asociada a hematites en el horizonte superficial, mientras que en el horizonte (B) profundo existe sólo goethita, de acuerdo con su buena aireación y humidificación.

En este suelo, excepcional en cuanto a problemas del hierro se refiere, la presencia de maghemita puede estar motivada por diversas causas de las que cita Bonifás y Legoux (1957), tales como oxidación de magnetita, ignición de óxidos amorfos de hierro y evolución de los óxidos amorfos en presencia de la materia orgánica

del suelo.

A nuestro juicio el origen por ignición es muy probable por tratarse de un suelo en una zona forestal en la que al mismo tiempo se reconoce desde muy antiguo la explotación industrial y minera de las calizas; en la descripción del perfil se apunta la existencia de escorias que bien podrían resultar de estas actividades.

Por último, el estudio micromorfológico permite comentar conjuntamente los resultados de los distintos aspectos del hierro en los suelos de Andalucía Occidental.

Las características morfológicas y analíticas de los horizontes de los rankers arenosos definen estos suelos como formaciones edáficas de perfil complejo. En los horizontes superiores, la casi total ausencia de arcilla y la no existencia de carbonatos determina en gran medida, juntamente con el clima, las características de la vegetación, modificada en zonas importantes del Llano de Huelva por el hombre. La introducción de pinos debe coadyuvar a la formación en el suelo de sustancias relativamente ácidas y poco polimerizadas producidas en la descomposición de los restos del matorral natural. Por todas estas circunstancias, la biología del suelo forma humus moder y posiblemente en esto, y en las características físicas y mineralógicas del subsuelo, radique la correcta interpretación del bajo contenido en hierro total y del alto % de Fe_2O_3 libre/total.

El estudio microscópico del suelo en láminas

delgadas permite identificar concreciones ferruginosas en los horizontes de transición de las aronas al sedimento subyacente; el conjunto funciona como un pseudogley cuyos horizontes profundos forman parte del basamento villafranquiense de la región, recubierto por aronas eólicas (Paneque y Alonso, 1966). Estos horizontes han sido considerados como Dg₂ ó IIg₂, con abundantes nódulos ferruginosos y manchas de color abigarrado. De acuerdo con el esquema presentado los minerales de hierro son en superficie goethita, goethita-lepidocrocita en el de transición y lepidocrocita en los más profundos.

En los suelos arcillosos calizos (rendsina y suelo margoso vértico) el mull cálcico del horizonte Ap determina una microestructura de agrogados con buenas relaciones agua-aire. Con estas características químicas y morfológicas, la alteración mineral es relativamente poco intensa, el contenido en Fe₂O₃ total del suelo pequeño (4%), y el hierro en la fracción arcilla es del orden de 6 a 9%. Las formas cristalinas de hierro corresponden a goethita, apreciándose microscópicas concreciones arcillo-ferruginosas, posiblemente lito-relictas con hematites.

En los horizontes más profundos la microestructura es más compacta y las variaciones estacionales del agua determinan una alternancia de fases de oxidación y de reducción. Al microscopio se observan manchas difusas, pardas y rojizas, en los planos de retracción de la masa

basal, características de los pseudogleys; y la investigación por rayos X muestra que a la goothita acompaña pequeña proporción de lepidocrocita. Los cambios de estructura con la profundidad, la textura arcillosa y el clima de la región determinan tan sólo un ligero lavado de caliza.

Fronte a las características micromorfológicas de los suelos arcillosos calizos y arenosos con pseudogley profundo pueden oponerse las de las tierras pardas meridionales, que son suelos de contenidos relativamente altos en Fe_2O_3 total (6%) y moderada proporción de hierro libre/total (15 a 30%). En estos suelos, con mull eutrófico y microestructura de esponja, existen separaciones ferruginosas y arcillo-ferruginosas propias de formaciones odáficas bien desarrolladas, con buena alteración química y con movilización de coloides. Para Kubiona (1952) la tierra parda meridional presenta en los horizontes (B)/C características micromorfológicas de braunorde y de braunlohm. En las arcillas de este grupo de suelos se han identificado goothita y hematites como principales formas del hierro.

De acuerdo con el comportamiento excepcional de la tierra parda ferrítica en cuanto a datos analíticos de hierro se refiere, este suelo presenta en láminas dobladas una disposición micromorfológica muy particular. Aun tratándose de una forma con humus mull, la relativa escasa cantidad de arcilla, las condiciones odáficas os-

peciales (suelo bajo castaño a 800 mts de altura en la parte más húmeda de Sierra Morena Occidental), y tal vez el alto contenido en hierro y la antigüedad del suelo, - asociado a un paisaje cárstico sobre calizas cambrianas -, son factores interesantes en la interpretación de la microestructura. Existen numerosos agregados de origen biológico de diversa forma y tamaño, con buena acomodación, sin llegar a constituir formas típicas del mull cálcico de los suelos francos. Estos agregados son porosos y opacos observados con luz transmitida, y muy oscuros con luz incidente; en el interior contienen micronódulos muy difusos de hierro y manganeso de color pardo, pardo rojizo, rojo y negro con luz reflejada. En el horizonte superior la fracción arcilla contiene maghemita, hematitas e indicios de goethita, y en los inferiores fundamentalmente goethita.

También en Sierra Morena y sobre calizas cambrianas, pero menos rica en hierro que las anteriores, se encuentran suelos rojos terrificados, cuyas arcillas juntamente con las de tierras pardas ferríticas son las de mayor contenido en hierro total (12%); estas arcillas contienen goethita y hematitas. La existencia de micronódulos y microconcreciones ferruginosas y arcillo-ferruginosas determinan posiblemente el alto contenido en hierro de la fracción limo (5 - 6% de Fe_2O_3) y la baja proporción de Fe_2O_3 libre/total en el suelo (12%). Estas formaciones podrían representar suelos intermedios entre la tierra

parda ferrítica y los suelos rojos mediterráneos.

Los suelos rojos mediterráneos ofrecen desde el punto de vista micromorfológico una serie de características de gran interés en cuanto a problemas del hierro se refiere. La alteración química transcurre, como en la tierra parda ferrítica y el suelo rojo terrificado, mediante un fuerte lavado de caliza, pero la liberación de hierro es en proporción mucho más pequeña. El hierro total del suelo (2%) se encuentra en gran medida como hierro libre adsorbido en la arcilla. En efecto, la proporción de hierro libre/total es del orden de 45% y las arcillas contienen 10 - 11% de Fe_2O_3 . El horizonte B_2 tiene un marcado carácter iluvial, y está constituido por granos del esqueleto y plasma arcillo-ferruginoso alrededor de los granos, llegando en algunas partes a rellenar todos los espacios vacíos. En la fracción arcilla, la goethita es el mineral de hierro predominante; en el horizonte superior existen indicios de hematites, y en el B_2 de lepidocrocita, forma esta última que indica una evolución del hierro en ambiente confinado, como en los horizontes g.

Los suelos pardo rojizos de terraza se encuentran en una situación geomorfológica que permite relacionarlos con los suelos rojos y con las vegas y suelos calizos jóvenes de la región. Concretándonos a la micromorfología los horizontes Ap muestran junto a caracteres de horizonte A (humus mull con formación de agregados de

origen biológico, etc.), otros que denotan claramente procesos de rubefacción, acumulación de coloides y pseudogleyización. Estos suelos deben considerarse de perfiles truncados por la erosión que posteriormente experimentan procesos actuales de empardecimiento y tirsificación. En la microestructura destacan al lado de agregados biológicos otros poliédricos irregulares con superficies planas de retracción que determinan espacios vacíos reticulares. En los agregados la distribución de los granos del esqueleto y del plasma es en parte aglomerada y en parte porfiriosquelótica; y como separaciones edáficas hay que resaltar nódulos y concreciones ferruginosas y arcillo-ferruginosas, y otras formaciones que denotan una movilización activa de hierro mediante los procesos ya señalados de rubefacción, de lavado y de pseudogleyización. Los horizontes B/Ca y Ca/C son de características muy análogas a los de los suelos rojos mediterráneos lavados.

Los datos de hierro total permiten incluir el suelo pardo rojizo de terraza en una clase más ferruginosa (4 a 6%) que los suelos rojos mediterráneos lavados (2% de Fe_2O_3 total), si bien estos suelos contienen menos % de Fe_2O_3 libre/total. (18 a 30% frente a 45% en los rojos mediterráneos). El contenido en hierro total en las arcillas es del mismo orden en ambos grupos (9 a 12%), diferenciándose en que las arcillas de los suelos pardo rojizos de terraza contienen como formas cristalinas de hierro goethita y proporciones importantes de lepidocro-

cita aun en los horizontes Ap.

Tambien sobre terrazas, en superficies más antiguas que las anteriores e igualmente llanas, se encuentran suelos asociados a los pardo rojizos de terraza y rojos mediterráneos lavados que han sido clasificados como suelos pardos lavados con pseudogley. Estos suelos muestran un marcado contraste textural entre los horizontes superiores arenosos y los profundos arcillo-arenosos o limo-arcillo-arenosos. Aunque este contraste puede estar determinado por una cluviación de arcilla, se ha interpretado (Bellinfante; Panque y Clemente, 1970) a consecuencia de procesos de erosión de suelos y acumulación de sedimentos durante la evolución de las terrazas. La micromorfología muestra en los horizontes superiores formación de humus mull y moder mulliforme y microesqueleto arenoso de granos de cuarzo redondeados. Como separaciones edafo-relictas y actuales aparecen concreciones ferruginosas y nódulos de igual naturaleza. En profundidad se observan algunos cutanos de iluviación asociados a granos del esqueleto, fenómenos típicos de lavado de caliza y de arcilla, y fenómenos de pseudogleización. Finalmente, el horizonte profundo D corresponde a un sedimento de suelo de color pardo rojizo.

Como ha sido comentado los suelos pardo lavados de terraza con pseudogley se comportan en cuanto a Fe_2O_3 total, % de Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 en las arcillas de manera similar a los del grupo de suelos rojos mediterráneos.

5 - CONCLUSIONES

Se ha efectuado el estudio del contenido, distribución y formas del hierro en un conjunto de veinte perfiles de suelos de Andalucía Occidental, que incluye diez grupos, tipos o subórdenes de los más frecuentes de la citada región. Los suelos estudiados son Ranker arenoso (Quartzpsamment), Rendzina (Xerochrept), Suelo margoso vértico (Chromoxerert), Tierra negra andaluza (Pelloxerert), Tierra parda meridional (Xerochrept), Tierra parda ferrítica (Eutrochrept), Suelo rojo terrificado (Palexeroll), Suelo rojo mediterráneo lavado (Haploxeralf), Suelo pardo rojizo de terraza (Haploxeroll) y Suelo pardo lavado con pseudogley (Haplustalf).

El clima actual de la región, caracterizado por presentar dos periodos diferentes, uno de otoño-invierno con lluvias y temperaturas moderadas y otro de final de primavera a comienzos de otoño seco y con temperaturas moderadas y altas, con pequeñas modificaciones locales, es común a todos los suelos estudiados. Por esta circunstancia, la vegetación natural corresponde al dominio climático Oleo-Ceratonion, salvo en la zona más elevada de Sierra Morena Occidental en la que se encuentra el Quer-

ción Rotundifolii. En cuanto se refiere a la naturaleza de los materiales originales, casi todos ellos son calizos, de distinta textura y estructura, excepto algunos sedimentos silíceos (Ranker arenoso) y rocas eruptivas y metamórficas no calizas (Tierras pardas meridionales). La topografía es variable y determina modificaciones en el perfil por erosión, acumulación, particular influencia en el régimen de agua, etc. Por último, la acción del hombre, - la mayoría de los suelos son de labor-, debe considerarse como un factor ecológico de interés en cuanto modifica los procesos edafogenéticos naturales e influye en el contenido, distribución y formas del hierro en los suelos.

Como consecuencia y resumen del estudio efectuado pueden establecerse las siguientes conclusiones:

1.- De acuerdo con las características generales de los mencionados factores ecológicos, los procesos edafogenéticos determinan en los suelos estudiados una serie de propiedades comunes. En efecto, la mayoría de ellos contienen humus mull, son de reacción neutra, ligeramente ácida o alcalina, de alta saturación en bases y con predominio de Ca y Mg como cationes de cambio.

2.- En cuanto se refiere a Fe_2O_3 total, los suelos de Andalucía Occidental contienen cantidades comprendidas entre 2 y 6%, análogas a las de otros suelos de zonas tem-

pladas. La Tierra parda ferrítica, cuyo contenido en Fe_2O_3 es de 35 a 55%, similar al de algunos suelos ferralíticos, debe considerarse a este respecto como una excepción.

3.- En el conjunto de suelos estudiados, el hierro libre determinado por el método de Dob (modificación de Robichet), no supera el 1%, excepto en la Tierra parda ferrítica en la que asciende al 4%.

4.- Frente a las pequeñas variaciones en el contenido en Fe_2O_3 total y libre, la relación % Fe_2O_3 libre/ Fe_2O_3 total varía desde 7 a 53%.

Las más altas proporciones de Fe_2O_3 libre/total (53 - 37%) corresponden a los Rankers arenosos, Suelos rojos mediterráneos lavados y Suelos pardos lavados con pseudogley. Los Suelos pardos rojizos de terraza, el Suelo margoso vértico, las Tierras pardas meridionales y las Rendzinas contienen de 15 a 21% de Fe_2O_3 libre/total. Por último, las proporciones más bajas de Fe_2O_3 libre/total (12 - 7%) se encuentran en el Suelo rojo terrificado, Tierra parda ferrítica y Tierra negra andaluza.

5.- Los suelos con más alta proporción de Fe_2O_3 libre/total (Ranker arenoso, Suelo rojo mediterráneo lavado y Suelo pardo lavado con pseudogley) se caracterizan por mostrar razones $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ altas, razones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ altas y cantidades pequeñas de Fe_2O_3 total. Al mismo tiempo,

estos suelos contienen cantidades bajas de CaO .

En los suelos restantes ,con % Fe_2O_3 libre/
/total medio o bajo, las razones $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{Al}_2\text{O}_3/
/\text{Fe}_2\text{O}_3$ son más bajas y las proporciones de CaO superan el 2%.

Por consiguiente, frente a los resultados generales de una alteración climática que da lugar en los suelos a contenidos en Fe_2O_3 total característicos para los de una zona geográfica amplia, la naturaleza de la roca y otras condiciones del medio, se reflejan en el % de Fe_2O_3 libre/total para cada uno de los grupos estudiados.

6.- Respecto al contenido medio en Fe_2O_3 total en las diversas fracciones mecánicas de los suelos, las arcillas estudiadas poseen 9%, los limos 3%, las arenas finas 1.6% y las arenas gruesas 2.7%.

Estos datos muestran de manera manifiesta que el hierro se acumula en las fracciones finas, como ocurre con otros muchos elementos químicos. Al mismo tiempo, el estudio comparativo de las proporciones de Fe_2O_3 total en las arcillas de los distintos suelos investigados, permite dividir estos en grupos de diferentes grados de evolución respecto a la movilización y acumulación de hierro en las citadas fracciones.

7.- Las arcillas de los suelos con lixiviado de coloides

y pseudogleyización (Suelo pardo lavado con pseudogley) y las de suelos con rubefacción y terrificación (Suelo rojo terrificado) o rubefacción y estepización (Suelo pardo rojizo de terraza) contienen del 9 a 12% de Fe_2O_3 .

Las arcillas de suelos de perfil poco diferenciado, de textura arcillosa y alta proporción de CO_3Ca (Tierra negra andaluza, Suelo margoso vértico y Rendssina) y las de suelos de perfil poco evolucionado y textura franca (Tierras pardas meridionales), contienen de 6 a 9% de Fe_2O_3 .

Las arcillas de los Rankers arenosos, contienen menos de 6% de Fe_2O_3 total.

8.- En cuanto respecta al contenido en Fe_2O_3 en los limos, el estudio realizado permite concluir que el hierro se concentra en esta fracción en suelos con alta proporción de hierro en la arcilla (Tierra parda ferrítica y Suelo rojo terrificado), o en suelos de textura franca poco evolucionados (Tierra parda meridional) o de textura arcillosa con pseudogleyización difusa (Suelo margoso vértico).

9.- El contenido medio en Fe_2O_3 en la fracción arena gruesa (2.7%) es superior al de la arena fina (1.6%).

10.- El estudio de las variaciones del contenido en Fe_2O_3 con la profundidad del perfil en las distintas

fracciones mecánicas confirma características apreciadas en la descripción de los horizontes de los suelos, tales como discontinuidad litológica, ausencia de horizontes por erosión, procesos de iluviación y pseudogloyzación, etc.

11.- En el conjunto de arcillas de los suelos investigados, se han identificado por difracción de rayos X y A.T.D., α -FeOOH-goethita, α -Fe₂O₃-hematites, γ -FeOOH-lepidocrocita y γ -Fe₂O₃-maghemita, en mayor o menor proporción.

La general presencia de goethita en las arcillas de los suelos estudiados permite considerar dicho hidróxido como la forma que se alcanza por evolución normal del hierro en los citados suelos.

12.- A la goethita se asocian en las arcillas otros minerales de hierro que reflejan particularidades microclimáticas y características físico-químicas especiales en los procesos edafogénicos: lepidocrocita en los horizontes con pseudogloyzación (Dg₂ del Ranker arenoso sobre villafranquienso, Suelo margoso vértico, Tierra negra andaluza, Suelo pardo rojizo de terraza, Suelo pardo lavado con pseudogley y B_{2g} en el Suelo rojo mediterráneo lavado) confirmándose que la formación de dicho mineral exige un ambiente confinado cuyo origen radica en la oscilación estacional de una capa freática más o menos importante y duradera.

13.- Así mismo y de acuerdo con lo establecido en la bibliografía, se comprueba que en los suelos estudiados la asociación de hematites con goethita ocurre en horizontes con alteración química relativamente intensa y microclima del suelo seco y bien aireado (horizontes superiores de Tierra parda meridional, Tierra parda ferrítica, Suelo rojo terrificado y Suelo rojo mediterráneo lavado).

14.- Sólo en la Tierra parda ferrítica, suelo en muchos aspectos con un comportamiento excepcional respecto a los restantes estudiados, se comprueba en las arcillas la existencia de maghemita asociada a hematites en el horizonte superior. El origen de este mineral se debe probablemente a ignición de óxidos de hierro en presencia de materia orgánica.

15.- El estudio micromorfológico confirma el proceso genético fundamental en el Ranker arenoso, formación de un suelo de perfil AC con humus moder sobre sedimento villafranquense (pseudogley relicto). El conjunto funciona como pseudogley profundo secundario, a causa de una discontinuidad litológica y de las características topográficas del medio.

16.- Los suelos arcillosos calizos (Rendsina y Suelo margoso vértico), en el horizonte Ap tienen un mull

cálcico que determina microestructura de agregados con buena relación agua-aire; en los horizontos más profundos existe microestructura más compacta que determina pseudogloyzación, manifestándose en el estudio microscópico en forma de manchas difusas pardas y rojizas, en los planos de retracción del plasma.

17.- En las Tierras pardas meridionales la microestructura de los horizontes superficiales es la de mull forestal con alta saturación en bases y coloides arcillo-humus-ferruginosos floculados. En los horizontes (B)/C se confirma la presencia de características micromorfológicas típicas de las braunerdes y de los braunlehms.

18.- En la Tierra parda ferrítica los factores ecológicos y los procesos genéticos de este suelo particular determinan una microestructura formada por agregados de origen biológico, porosos y opacos con luz transmitida, que contienen en el interior micronódulos muy difusos de hierro y manganeso, de color pardo, pardo rojizo, rojo y negro observables con luz reflejada.

19.- Las características microscópicas de los Suelos rojos torreficados sobre calizas cambrianas de Sierra Morona, en cuyas estructuras se aprecian micronódulos y microconcreciones ferruginosas y arcillo-ferruginosas, explican los datos comentados acerca del alto contenido

en Fe_2O_3 en la fracción lino y la baja proporción de Fe_2O_3 libre/total en el suelo, al mismo tiempo que permiten considerar éste como formación intermedia entre el Suelo rojo mediterráneo lavado y la Tierra parda ferrítica.

20.- En el Suelo rojo mediterráneo lavado la alteración ha transcurrido con lavado de caliza y pequeña liberación de hierro que se encuentra adsorbido a la arcilla. La iluviación del plasma arcillo-ferruginoso alrededor de los granos es típica para estos suelos sobre sedimentos arenosos calizos.

21.- Los Suelos pardos rojizos de terraza muestran en láminas delgadas características de una superposición de procesos más o menos antiguos: rubefacción, lixiviado de coloides, pseudogleyización y otros actuales de tir-sificación o enpardecimiento.

22.- El estudio micromorfológico del Suelo pardo lavado de terraza con pseudogley, pone de manifiesto la existencia de procesos geológicos y edafogenéticos antiguos con lavado de coloides y pseudogleyización secundaria antigua (concreciones y nódulos ferruginosos edafo-relictos), y la naturaleza compleja del perfil fosilizando sedimentos de suelos rojos con calcificación secundaria.

6 - BIBLIOGRAFIA

- Alexander, G.B.; Heston, W.M. e Iler, H.K. 1954 - The solubility of amorphous silica in water - Jour. Phys. Chem. 58, 453-455.
- Alexander, L.T.; Hendricks, S.B. y Nelson, R.A. 1939 - Minerals present in soil colloids. II. Estimation in some representative soils - Soil Sci. 48, 273-279.
- Allison, L.E. y Scarseth, G.D. 1942 - A biological reduction method for removing free iron oxide from soils and colloidal clays - J. Amer. Soc. Agron. 34, 616-623.
- Arden, T.V. 1950 - The solubility products of ferrous and ferrosic hydroxides - J. chem. Soc. , 883-885.
- Barras de Aragón, F. 1899 - Apuntes para una descripción geológico-mineralógica de la provincia de Sevilla - Palencia.
- Barshad, I. y Rojas Cruz, L.A. 1950 - A pedologic study of a podzol profile from the equatorial region of Colombia, South America - Soil Sci. 70, 221-236.
- Bartlett, R.J. 1961 - Iron oxidation proximate to plant roots - Soil Sci. 92, 372-379.
- Bellinfante, N.; Paneque, G. y Clemente, L. 1970 - Estudio físico químico y edafogenótico de un perfil complejo de suelos de las terrazas del Guadalquivir - En prensa.

- Bernal, J.; Dasgupta, D.R. y Mackay, A.L. 1959 - The oxides and hydroxides of iron and their structural inter-relationships - Clay Miner. Bull. 4, 15.
- Bétrémieux, R. 1951 - Etude experimentale de l'évolution du fer et du manganese dans les sols - Ann. Agron. 2, 193-295.
- Bloomfield, C. 1950 - Some observations on gleying - J. Soil Sci. 1, 205-211.
- Bloomfield, C. 1951 - Experiments on the mechanism of gley formation - J. Soil Sci. 2, 196-211.
- Bloomfield, C. 1953 - The mobilisation of iron and aluminium by Scots pine needles - J. Soil Sci. 4, 5-16.
- Bloomfield, C. 1955 a - Expeimental production of podzolisation - Chem. & Ind. 1596-1597.
- Bloomfield, C. 1955 b - The immobilisation of iron and aluminium - J. Soil Sci. 6, 284-292.
- Bloomfield, C. 1956 b - The experimental production of podzolisation - Rep. 6th int. Congr. Soil Sci. E (comission V), 21-23.
- Bloomfield, C. 1958 - Mobilisation of iron in podzol soils by aqueous leaf extracts - Chem. & Ind. 259-260.
- Bloomfield, C. 1963 - Mobilisation phenomena - Rothamsted Exp. Sta. Report 1963

- Le Borgne, E. 1952 - On the magnetic susceptibility of soil - C.R. Acad. Sci. Paris, 235, 1042-1043.
- Le Borgne, E. 1960 - The influence of iron on the magnetic properties of the soil and on those of schist and granite - Ann. Geophys. 16, 159-195.
- Bonifas, M. y Logoux, P. 1957 - The presence of massive maghemite in lateritic weathering products - Bull. Serv. Carte géol. Alsace-Lorraine 10, (2).
- Brewer, R. 1964 - Fabric and mineral analysis of soils - John Wiley and Sons, Inc.
- Brindley, G.W. 1961 - In "X-ray identification and crystal structures of clay minerals" - 2nd edition, Pub. miner. Soc. (Clay Miner. Group.), London.
- Brown, G. 1953 - The occurrence of lepidocrocite in some British soils - J. Soil Sci. 4, 220-228.
- Burriel, F. 1952 - Química analítica cualitativa - Paraninfo, Madrid.
- Carbajal, R. y Martín Aranda, J. 1962 - Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla - C.E.B.A.C. Sevilla
- Carroll, D. y Woof, M. 1951 - Lateritic development on basalt at Inwerell, New South Wales - Soil Sci. 72, 87-99.
- Carroll, D. 1958 - Role of clay minerals in the transportation of iron - Geochim. et Cosmoch. Acta 14, 1-27.

- Charlot, G. y Bezier, D. 1945 - Méthodes modernes d'analyse quantitative minérale - Masson, París.
- Correns, C.W. 1952 - Zur Geochemie des Eisens - XXI Cong. Int. Géol. Alger, Symposium Gisements de Fer, 2, 23-27.
- Dantin, J. 1950 - Regiones naturales de España - Barcelona.
- Deb, B.C. 1950 - Determination of free iron oxides in soils and clays and their removal - J. Soil Sci. 1, 212-220.
- Demolon, A. 1962 - La dynamique du sol - París.
- Dion, H.G. 1944 - Iron oxide removal from clays - Soil Sci. 58, 411-424.
- Dobrovolsky, V.V. 1964 - Micromorphological effects of metasomatic and colloidal phenomena during hypergenesis - Soil Micromorphology, 131 (Elsevier publishing company).
- Drosdoff, M. y Nikiforoff, C.C. 1940 - Iron manganese concretions in Dayton soils - Soil Sci. 49, 333-345.
- Dichaufour, Ph. 1960 y 1965 - Précis de Pedologie - Masson, París.
- Filippovich, Z.S. 1956 - Absorption of colloids by soils and the formation of structure - Pochvovedenie, No. 2, 16-26.
- Fripiat, J.J. y Gastuche, M. 1952 - Physico chemical studies of clays surfaces. Combinations of kaolinite with trivalent iron oxides - Inst. Nat. Et. Agron. Congo belge Pub. Sér Sci., 54, 59.

- Francombe, M.H. y Rooksby, H.P. 1959 - Structure transformations effected by the hydration of diasporite, goethite and delta ferric oxide - Clay Min. Bull. 4, 1.
- Frei, E. 1964 - Micromorphology of some tropical mountain soils - Soil Micromorphology, 307 (Elsevier publishing company).
- Gavala, J. et al. - Mapa Geol'ogico de España. Memorias explicativas de la zona - Inst. Geol. y Min. de España, Madrid.
- Goldschmidt, V.M. 1958 - Geochemistry - 2edn., Clarendon Press, Oxford.
- Gonzalez García, F. y Perez Rodriguez, J.L. 1970 - Constitución y propiedades físico-químicas de las arcillas de suelos del Valle del Guadalquivir. I. Tierras negras andaluzas, rendsinas y suelos margosos vérticos - En prensa.
- Gonzalez García, S. 1960 - Análisis mineralógico de arcillas de suelos andaluces. I. Tierras rojas - An. Edaf. Fis. veg. XIX, 191-192.
- Hallsworth, E.G. y Ahmad, N. 1957 - Iron pan formation in the soils of the University Farms - Univ. Nottingham, Rep. School Agric., 31-35.
- Hamilton, R. 1964 - Microscopic studies on laterite formation - Soil Micromorphology, 269 (Elsevier publishing company).

- Hem, J.D. y Cropper, W.H. 1959 - Survey of ferrous-ferrio chemical equilibria and redox potentials - Water Supply paper U.S. Geol. Survey 1459 A, 1-31.
- Hendricks, S.B. y Alexander, L.T. 1939 - Minerals present in soil colloids. I. Descriptions and methods of identification - Soil Sci. 48, 257 - 271.
- Henin, S. y Le Borgne, E. 1953 - Causes of magnetic properties of certain soils - C.R. Acad. Sci. Paris 236, 736-738.
- Henin, S. y Le Borgne, E. 1954 - On the magnetic properties of soils and their pedological interpretation - V int. Congr. Soil Sci. II, 13.
- Hernandez Pacheco, E. 1926 - La Sierra Morena y la llanura Bética (síntesis Geológica) - XIV Congr. Geol. int., Madrid.
- Hernandez Pacheco, E. 1932 - Síntesis fisiográfica y geológica de España - Trab. Museo Nac. Cienc. Nat. Madrid, nº 38.
- Hernandez Sanpelayo, P. 1935 - Explicación del nuevo mapa geológico de España - Inst. Geol. y Min. de España, Madrid.
- Hernando, V. y Sanchez Conde, P. 1954 - Estudio del pH en suelos de distintas características - An. Edaf. y Fis. Veg. 13, 737-766.

- Hidalgo, L. y Candela, M.R. 1958 - El poder clorosante de los suelos calizos en el viñedo - Bol. Inst. N. Inv. Agron. XVIII, 383-440.
- Hoyos, A. y Alías, L. 1956 - Contribution to the study of lateritic concretions of continental Spanish Guinea - VI Congr. Int. Sci. Sol. Rapp. E, 377-380.
- Hoyos, A. 1964 - Génesis y desarrollo del suelo: Los agentes formadores y los procesos de movilización y acumulación de sustancias - Conf. curso int. Unesco, Sevilla.
- Hutchinson, G.E. 1957 - A treatise on limnology vol. 1 - New York, John Wiley.
- Iri, H.; Maruta, I.; Takahashi, I.; Kubota, M. et al. 1957 - Variation of ferrous iron content and soil profiles under flooded rice field. I. - Soil and plant Food 3, 36-47.
- Iwasa, Y. 1963 - Iron hydroxides in soils. 2. Crystallographic studies of iron hydroxides by treatment with 5 N NaOH - J. Sci. Soil Tokyo 34, 335-338.
- Iwasa, Y. 1965 - Mineralogical studies of iron minerals in soils - Bull. natn. Inst. agric. Sci., Tokyo 1315, 187-244.
- Jackson, M.L. y Sherman, G.D. 1953 - Chemical weathering of minerals in soils - Advan. Agron. 5, 219-318
- Jackson, M.L. 1958 - Soil chemical analysis - Constable & Co. Ltd., London.

- Jacob, J. 1944 - Guía para el análisis de las rocas - C.S.I.C., Madrid.
- Kamoshita, Y. y Yamada, Y. 1956 - Relation of free iron to color of soils - J. Sci. Soil Manure, 27, 77-78
- Kamoshita, Y. e Iwasa, Y. 1959 - On the rusty mottles in paddy field soils - J. Sci. Soil Tokyo, 30, 185-188.
- Kataoka, I. 1959 - Studies on free ferric oxide in view of Soil Science - Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kochi Univ. No. 5.
- Kojima, M. 1962 - Soil color and iron minerals in the soil - Nippon Dojo-Hiryogaku Zasshi 33 (6), 311-316.
- Kubiena, W.L. 1931 - Micropedological studies - Wiss. Arch. Pflanzenbau 5, 613-648.
- Kubiena, W.L. 1938 - Micropedology - Collegiate Press Inc., Ames, Iowa.
- Kubiena, W.L. 1952 - Claves sistemáticas de suelos - C.S.I.C., Madrid.
- Kubiena, W.L.; Beckmann, W. y Geyger, E. 1961 - Method of photogrammetric analysis of soil structure - Z. PflErnahr. Dung., Bodenkunde 92, 116-126.
- Kubiena, W.L., 1962 - Taxonomic importance of the type and formation of iron hydroxide minerals in tropical soils - Z. PflErnahr. Dung., Bodenkun de 98, 205-213.

- Kun-Huang, H. y Tsen-Tuo, Ch. 1959 - Certain physico-chemical properties of the Pinchen Clay and the function of its free iron oxide and organic matter - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23, 270-273.
- Lamberts, D. y Livens, P.J. 1954 - The accumulation of iron oxides in soils on loess loams - Trans. 5th int. Congr. Soil Sci. 2, 478-485.
- Lavrov, A.V. 1950 - The development of V.R. William's idea "about the capsulation of roots" - Pochvovedenie 39-40.
- Lutz, V.F. 1937 - The relation of free iron in the soil to aggregation - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1, 43-45.
- Macaulay Institute, 1948 - Physico-chemical investigations - Macaulay Inst. Rep., 11-12.
- Mackenzie, R.C. 1949 - Nature of free iron oxides in soil clays - Nature Lond. 164, 244.
- Mackenzie, R.C. 1957 - The differential thermal investigation of clays - Mineralogical Society, Londres.
- Masachs Alavedra, V. 1947 - Los factores determinantes de la distribución especial de los tipos de régimen de los rios de la Península Ibérica - Est. Geogr. nº 28.465.
- Matsusaka, Y. y Shorman, G.D. 1961 - Magnetism of iron oxides in Hawaiian soils - Soil Sci. 91, 239 .

- Mattson, S. y Gustafson, Y. 1937 - The electrochemistry of soil formation. I. The gel and the sol complex - Ann. of the Agricult. Coll. of Sweden 4, 1-57.
- Mayne, J.E.O. 1953 - The oxidation of ferrous hydroxide - J. Chem. Soc., 129-132.
- Mückenhausen, E. 1963 - Le Pseudogley - Science du Sol - Mai, 21-31.
- Nagelsmidt, G. 1939 - The identification of minerals in soil colloids - J. agric. Sci. 29, 477-501.
- Norrish, K. y Taylor, R.M. 1961 - The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites - J. Soil Sci. 12, 294-306.
- Norrish, K. y Taylor, R.M. 1961 - Dissolution of clay material in order to concentrate free oxides - J. Soil Sci.
- Oades, J.M. 1963 - The nature and distribution of iron compounds in soils - Soils and Fertilizers 69-79
- Oades, J.M. y Townsend, W.N. 1963 b - The detection of ferromagnetic minerals in soils and clays - J. Soil Sci. 14, 179-187.
- Okamoto, G.; Okura, T. y Goto, T. 1957 - Properties of silica in water - Geoch. Cosmo. Acta 12, 123-132.
- Page, A.L. y Whittig, L.D. 1961 - Iron absorption by montmorillonite systems: Preliminary studies - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 278-281.

- Page, A.L. y Whittig, L.D. 1961 - Iron absorption by montmorillonite systems. II. Determination of adsorbed iron - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 282-286.
- Panabokke, C.R. 1959 - A study of some soils in the dry zone of Ceylon - Soil Sci. 87, 67-74.
- Panque, G. y Alonso, A. 1966 - Los suelos arenosos del Llano de Huelva, Sur de España - Conf. Sue. Med. Soc. Esp. Cien. Sue., Comun. 137-138, Madrid
- Paneque, G. y Mudarra, J.L. 1962 - Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla - C.E.B.A.C., Sevilla
- Paneque, G. y Mudarra, J.L. 1963 - Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz - C.E.B.A.C., Sevilla.
- Panque, G. y Mudarra, J.L. - Estudio agrobiológico de la provincia de Huelva - En preparación.
- Panque, G. y Mudarra, J.L. - Estudio agrobiológico de la provincia de Córdoba - En preparación.
- Paneque, G. y Mudarra, J.L. - Estudio agrobiológico de la provincia de Jaén - En preparación.
- Paneque, G. y Mudarra, J.L. 1966 - Morfología, sistemática y cartografía de los suelos de Andalucía Occidental - Conf. Sue. Med., Soc. Esp. Cien. Sue. 417-442, Madrid.

- Paneque, G. y Bellinfante, N. 1964 - Mediterranean brown forest soils of Sierra Morena, their micromorphology and petrography - Soil Micromorphology p. 189 (Elsevier publishing company).
- Pedro, G. 1964 - Alteración geoquímica de las rocas - Ann. Agronomiques 15
- Pettijohn, F.J. 1941 - Persistence of heavy minerals and geologic age - J. Geol. 49, 610-625.
- Plico, M.J. 1962 - The coloration of rocks and soils - Quart. J. Fla. Acad. Sci. 25, 3, 223-233.
- Polinov, B.B. 1915 - Petrographic conception of the soil and of weathering rocks - Pochvovedenie nº 1.
- Polinov, B.B. 1934 - The crust of weathering. I. - Leningrad, Izdatel'stvo AN SSSR.
- Portevin, M.A. 1950 - Studies on the physico-chemical analysis of iron minerals - Bull. Soc. franç. Minéral Cristall. 75, 45-56.
- Prieto, I. y Alastrúe, E. 1952 - Mapa geológico de España. Explicación de la hoja nº 1021 - Inst. Geol. y Min. de España, Madrid.
- Rankama, K. y Sahama, T.G. 1960 - Geochemistry - 4ed. The Univ. Chicago Press.
- Raymond, P.E. 1942 - The pigment in black and red sediments - Amer. J. Sci. 240, 663-669.
- Reiche, P. 1945 - Univ. New Mexico, publ. Geol. 1

- Rivas Goday, S. y Fernandez Galiano, E. 1962 - Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla; mapa de vegetación - C.E.B.A.C., Sevilla.
- Robichet, O. 1957 - Investigation on iron and manganese oxides in soils - Ann. Agron., 8, 511-570, Paris
- Sandell, E.B. 1950 - Colorimetric determination of trace metals - Interscience, Londres.
- Scheffer, F.; Meyer, B. y Babel, U. 1959 - Magnetic measurements as aids in the determination of iron oxide earth - Beitr. Mineral. Petrog. 6, 371-387.
- Scheffer, F.; Welte, E. y Ludweig, F. 1958 - On the question of hydrated iron oxides in soil - Chem. Erde 18-19, 51-64.
- Scheys, G.; Dudal, R. y Baeyens, L. 1954 - Une interpretation de la morphologie de podzols humo-ferriques - Trans. 5th int. Congr. Soil Sci. 4, 274-281.
- Schollenberger, C.J. y Simon, R.H. 1945 - Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil. Ammonium acetate method - Soil Sci. 59, 13-24.
- Schroeder, D. y Schwertmann, U. 1955 - The formation of iron concretions in soils - Naturwissenschaften 42, 255-256.

- Schuylenborg, J. van 1965 - The formation of sesquioxides in soils - "Experimental Pedology". Proc. 11th Easter School agric. Sci., Univ. Nottingham, 113-125.
- Schwertmann, U. y Heinemann, B. 1959 - The occurrence and formation of maghemite in soils of N.W. Germany - Neues Jb. Miner. Mh. 8, 174-181.
- Schwertmann, U. 1959 b - Mineralogical and chemical studies of iron oxides in soils and sediments - Neues Jb. Miner. Abh. 93, 67-86.
- Schwertmann, U. 1959 c - Über die Synthese definierter Eisen oxyde unter verschiedenen Bedingungen - Z. anorg. allg. chem. 298, 337-348.
- Sogalen, P. 1964 - Le fer dans les sols - O.R.S.T.O.M.
- Sherman, G.P. y Kanchiro, Y. 1954 - Origin and development of ferroginous concretions in Hawaiian latosols - Soil Sci. 77, 1-8.
- Siffert, B. 1962 - Quelques reactions de la silice en solution; La formation des argiles - Mém. Serv. Geol. Alsace-Lorraine n° 21, Strasbourg.
- Stace, H. C. T. 1957 - Chemical characteristics of terra rossas and rendzinas of South Australia - J. Soil Sci. 7, 280-293.
- Starkey, R.L. y Halvorson, H.O. 1927 - Studies on transformations of iron in nature. II. Concerning the importance of micro-organism in the solution and precipitation of iron - Soil Sci. 24, 381-402

- Storrier, R.R. y Muir, A. 1962 - The characteristics and genesis of a ferritic brown earth - J. Soil Sci. 13 (2), 258-270.
- Sumner, M.E. 1963 - Effect of iron oxides on positive & negative charges in clays & soils - Clay Min. Bull. 5, 218-226.
- Swenson, R.M. y Riecken, F.F. 1955 - Movement of iron in the development of loess derived Brunizem soils - Soil Sci. 79, 177-186.
- Taboadela, M.M. 1953 - The clay mineralogy of some soils from Spain and from Rio Muni (West Africa) - J. Soil Sci. 4, 48-55.
- Tamura, T. y Jackson, M.L. 1953 - Structural and energy relationships in the formation of iron and aluminium oxides, hydroxides and silicates - Science 117, 381-383.
- Taylor, R.M. 1959 - Amorphous iron oxides in soils - J. Soil Sci. 10, 309-315.
- Truog, E.; Taylor, J.R. y Pearson, R.W. 1936 - Procedure for special type of mechanical analysis and mineralogical analysis - Soil Sci. Soc Amer. Proc. 1, 101-112.
- Tucker, B.M. 1954 - The determination of exchangeable calcium and magnesium in carbonate soils - Aust. J. Agric. Res. 5, 706-715.
- Van der Marel, H.W. 1951 - γ -ferric oxide in sediments - J. Sediment Petrol. 21, 12-21.

- Volobuev, V.R. 1964 - Ecology of soils - Israel Program for Scient. Trnsl., Ltd.
- Waegeman, S.G. y Henry, S. 1954 - The colour of latosols in relation to their iron oxides - 5th int. Congr. Soil Sci. II, 384-389.
- Walkley, A. y Blak, I.A. 1934 - An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method - Soil Sci. 37, 29-38.
- Weiser, H.B. 1920 - J. Phys. Chem. 24, 277.
- Weyl, R. 1952 - Studies of heavy minerals in soil profiles - Z. PflErnahr. Dung., Bodenkunde 57, 135-141.
- Winters, E. 1938 - Ferromanganiferous concretions from some podzolic soils - Soil Sci. 46, 33-40
- Yanov, E.N. 1956 - Origin of red and gray colors in sedimentary rocks - Doklady Akad. Nauk. S.S.S.R. 111, 1330-1331.